

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Осухівська Г.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«11» листопада 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Фецаку Владиславу Руслановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та програмно-апаратні засоби організації адаптивної системи моніторингу, персоналізації, оптимізації енерговитрат та управління якістю мікроклімату в розумному будинку

Керівник роботи Тиш Євгенія Володимирівна, к.т.н., доцент кафедри КС
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 29 » листопада 2024 року № 4/7-1144

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.12.2024

3. Вихідні дані до роботи _____

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1 Аналіз існуючих систем адаптивного моніторингу та управління мікрокліматом у розумному будинку

2 Теоретичні основи розробки адаптивної системи моніторингу персоналізації та оптимізації енерговитрат у розумному будинку

3 Розробка та реалізація адаптивної системи моніторингу персоналізації та оптимізації енерговитрат у розумному будинку

4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Актуальність і мета дослідження.

2. Завдання, об'єкт і предмет, наукова новизна і практична цінність дослідження.

3. Характеристики архітектури адаптивної системи моніторингу, управління та оптимізації мікроклімату

4. Фрагмент коду роботи зчитування даних з сенсорів і перетворення їх на команди

5. Теоретичні обчислення динаміки змін параметрів мікроклімату за допомогою ML і PID регуляторів

6. Архітектура системи адаптивного управління мікрокліматом

7. Зміни температури, вологості, CO2 і енергоспоживання під час тестування алгоритму

8. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Осухівська Г.М., зав.каф. КС</i>	<i>05.12.2024</i>	
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Стручок В.С.</i>	<i>29.11.2024</i>	

7. Дата видачі завдання 11.11.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Аналіз існуючих систем адаптивного моніторингу та управління мікрокліматом</i>	<i>20.11.2024р. – 30.11.2024р.</i>	<i>Викон.</i>
2.	<i>Обґрунтування та вибір методів адаптивного управління і прогнозування параметрів мікроклімату</i>	<i>01.12.2024р. – 05.15.2024р.</i>	<i>Викон.</i>
3.	<i>Розробка та моделювання математичних моделей та методів оптимізації енергоспоживання</i>	<i>06.12.2024р. – 10.12.2024р.</i>	<i>Викон.</i>
4.	<i>Програмна реалізація, та тестування системи моніторингу і управління мікрокліматом</i>	<i>11.12.2024р. – 16.12.2024р.</i>	<i>Викон.</i>
5.	<i>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>17.12.2024р.</i>	<i>Викон.</i>
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>18.12.2024р.</i>	<i>Викон.</i>
7.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>19.12.2024</i>	<i>Викон.</i>
8.	<i>Захист кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>26.12.2024</i>	<i>Викон.</i>

Студент

(підпис)

Фецак В.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тиш Є.В.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Фецак В. Р. Методи та програмно-апаратні засоби організації адаптивної системи моніторингу, персоналізації, оптимізації енерговитрат та управління якістю мікроклімату в розумному будинку: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. Є. В. Тиш. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2024. — 83 с.

Ключові слова: адаптивна система, мікроклімат, енергоефективність, персоналізація, PID-регулятор, машинне навчання, розумний будинок, IoT.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці адаптивної системи моніторингу, персоналізації, оптимізації енерговитрат та управління якістю мікроклімату в розумному будинку. У роботі проведено аналіз сучасних систем моніторингу, розглянуто методи оптимізації енерговитрат та персоналізації параметрів мікроклімату.

На основі аналізу запропоновано підхід, що поєднує PID-регулятори та методи машинного навчання для прогнозування змін та управління параметрами в реальному часі. У роботі реалізовано програмно-апаратну систему на основі платформи Arduino Uno R3, яка використовує мультисенсорні дані для адаптивного налаштування. Проведені експериментальні дослідження підтвердили можливість зменшення енергоспоживання до 20% без втрати комфорту користувачів.

Результати роботи мають практичне значення для створення ефективних систем управління мікрокліматом у житлових приміщеннях та офісах, що враховують індивідуальні потреби користувачів та забезпечують інтеграцію з іншими компонентами розумного будинку.

ANNOTATION

Fetsak V .R. Methods and hardware-software tools for organizing an adaptive system for monitoring, personalization, energy optimization, and microclimate quality management in a smart home. Master's Graduation Thesis: speciality 123 — Computer engineering / supervisor I. V. Tysh. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2024. — 83 p.

Keywords: adaptive system, microclimate, energy efficiency, personalization, PID controller, machine learning, smart home, IoT.

This qualification paper is dedicated to developing an adaptive system for monitoring, personalization, energy consumption optimization, and quality management of microclimates in a smart home. The work analyzes modern monitoring systems and examines methods for optimizing energy consumption and personalizing microclimate parameters.

Based on the analysis, an approach combining PID controllers and machine learning methods for real-time prediction and parameter control has been proposed. A software-hardware system based on the Arduino Uno R3 platform was implemented, utilizing multisensor data for adaptive configuration. Experimental studies confirmed the potential to reduce energy consumption by up to 20% without compromising user comfort.

The results of the study have practical significance for creating efficient systems for microclimate management in residential and office environments, considering individual user needs and ensuring integration with other smart home components.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ	12
1.1. Огляд систем адаптивного моніторингу мікроклімату	12
1.2. Аналіз методів інтеграції мультисенсорних систем.....	15
1.3. Розвиток стандартів та нормативних вимог до систем адаптивного моніторингу мікроклімату	18
1.4. Аналіз енергоспоживання та персоналізації сучасних систем управління мікрокліматом.....	20
1.5. Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ.....	25
2.1. Математичні моделі адаптивного управління мікрокліматом	25
2.2. Оптимізація енергоспоживання системи управління.....	30
2.3. Використання штучного інтелекту для підвищення ефективності адаптивного управління мікрокліматом	32
2.4. Методи оцінки та прогнозування мікроклімату в реальному часі	34
2.5. Теоретичне обґрунтування вибору програмно-апаратних засобів.....	36
2.6. Оцінка надійності та безпеки адаптивних систем управління мікрокліматом.....	38
2.7. Висновки до розділу 2.....	40
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ.....	42
3.1. Розробка архітектури системи адаптивного управління мікрокліматом.....	42
3.2. Програмна реалізація системи	48
3.3. Тестування системи у реальних умовах	51

3.4. Аналіз ефективності розробленої системи.....	55
3.5. Висновки до розділу 3.....	57
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	60
4.1. Охорона праці	60
4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях	62
4.2.1. Вплив надзвичайних ситуацій мирного часу на роботу адаптивної системи моніторингу та управління мікрокліматом.	62
4.2.2. Заходи захисту адаптивної системи моніторингу та управління мікрокліматом під час надзвичайних ситуацій мирного часу	63
4.3. Висновки до розділу 4.....	65
ВИСНОВКИ.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68
Додаток А. Тези конференцій.....	71
Додаток Б. Фрагмент коду роботи системи	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Arduino Uno R3 – Мікроконтролер для інтеграції в розумні системи

PID-регулятор (англ. Proportional-Integral-Derivative Controller) – Контролер для регулювання адаптивних систем

MQTT (англ. Message Queuing Telemetry Transport) – Протокол передачі даних для малопотужних пристроїв

ZigBee – Протокол для бездротового з'єднання пристроїв в розумних будинках

HTTP (англ. HyperText Transfer Protocol) – Протокол передачі гіпертексту

Wi-Fi – Бездротова технологія передачі даних. IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей, технологія інтеграції пристроїв

GDPR (англ. General Data Protection Regulation) – Загальний регламент захисту даних

CO₂ (вуглекислий газ) – Параметр, що використовується для моніторингу мікроклімату

AES (англ. Advanced Encryption Standard) – Сучасний стандарт шифрування даних

UPS (англ. Uninterruptible Power Supply) – Джерело безперебійного живлення

ISO 50001 – Стандарт енергоменеджменту

IEC 62443 – Стандарт забезпечення кібербезпеки для систем автоматизації.

ВСТУП

Актуальність роботи. Сьогоднішній розвиток технологій для розумних будинків ставить нові завдання щодо контролю умов у приміщеннях, збереження енергії та створення комфортного середовища. Більшість сучасних систем автоматизації виконують лише основні функції, такі як підтримання температури чи вологості. Однак їх функції часто обмежені, вони не дуже енергоефективні та не можуть швидко підлаштовуватися до змін у навколишньому середовищі.

Наприклад, багато систем не враховують особистих уподобань користувачів, таких як улюблений температурний режим чи розклад використання кімнат. Це зменшує комфорт і ефективність використання таких систем. До того ж, коли ціни на енергію зростають, такі недоліки стають ще більш помітними.

Ще однією проблемою є те, що багато систем не використовують сучасні технології, такі як машинне навчання. Це ускладнює їхню здатність передбачати зміни в умовах і регулювати параметри заздалегідь. Системи, що працюють за старими моделями, не можуть достатньо швидко реагувати на нові умови.

Також існують складнощі з тим, як ці системи можуть працювати разом із іншими компонентами розумного будинку, наприклад, освітленням чи системами безпеки. Через обмеження у способах передачі даних і невелику гнучкість таких систем їхній потенціал значно знижується.

Розробки в галузі розумних будинків на сьогодні включають інноваційні підходи, такі як використання штучного інтелекту для аналізу поведінки користувачів та впровадження інтегрованих систем енергоменеджменту. Однак багато з цих рішень перебувають на стадії тестування або мають високу вартість, що обмежує їх доступність для масового ринку. Підвищення доступності таких технологій є важливим завданням для дослідників і розробників.

Тому створення адаптивної системи, яка враховує особисті потреби людей, використовує сучасні технології та може легко працювати з іншими пристроями у будинку, є дуже актуальним. Така система не лише забезпечить більше комфорту, але й допоможе зменшити витрати на енергію, сприяючи захисту довкілля.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка адаптивної системи моніторингу, персоналізації, оптимізації енерговитрат та управління якістю мікроклімату в розумному будинку, що забезпечить ефективне використання ресурсів і підвищить рівень комфорту користувачів.

Завдання кваліфікаційної роботи:

- Провести аналіз існуючих систем моніторингу, управління мікрокліматом та оптимізації енерговитрат у розумному будинку.
- Розробити математичні моделі та алгоритми адаптивного управління, що враховують зовнішні та внутрішні фактори.
- Реалізувати програмно-апаратну систему на базі Arduino R3 із використанням мультисенсорних даних.
- Провести тестування розробленої системи в реальних умовах та оцінити її ефективність.

Відповідно до мети та завдань кваліфікаційної роботи визначено її об'єкт та предмет.

Об'єкт дослідження: Процеси управління параметрами мікроклімату та енерговитрат у системах розумного будинку.

Предмет дослідження: Методи та програмно-апаратні засоби організації адаптивної системи моніторингу, персоналізації, оптимізації енерговитрат і управління якістю мікроклімату.

Методи дослідження: Теоретичний аналіз для оцінки ефективності існуючих рішень, математичне моделювання для створення алгоритмів адаптивного управління, експериментальне тестування для оцінки точності роботи сенсорів і алгоритмів оптимізації, програмна реалізація на основі Arduino R3 для інтеграції мультисенсорних даних.

Наукова новизна дослідження полягає у запропонованому методі адаптивного управління мікрокліматом у розумному будинку, який поєднує машинне навчання та алгоритми PID-регулювання. Удосконалено підходи до оптимізації енерговитрат шляхом використання мультисенсорних даних і алгоритмів прогнозування. Розроблено програмно-апаратну систему, яка забезпечує

персоналізацію параметрів мікроклімату для підвищення рівня комфорту користувачів.

Практичне значення результатів кваліфікаційної роботи Результати дослідження можуть бути використані для створення розумних систем управління мікрокліматом у житлових приміщеннях, офісах та промислових об'єктах. Запропонована система забезпечує зниження енергоспоживання до 20% при збереженні комфортних умов проживання.

Публікації. Результати дослідження апробовано на V науково-технічній конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства», XII міжнародній науково-технічній конференція молодих учених та студентів «Інформаційні моделі, системи та технології» у вигляді тез конференцій [4-6].

Структура роботи. Робота складається з пояснювальної записки та графічної частини. Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку (-ів). Обсяг роботи: пояснювальна записка – 83 арк. формату А4, графічна частина – 8 аркушів формату А1.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

1.1. Огляд систем адаптивного моніторингу мікроклімату

Адаптивні системи моніторингу мікроклімату стають невід’ємною частиною сучасних розумних будинків, офісних приміщень та промислових об’єктів. Їх основною функцією є забезпечення комфортних умов проживання або роботи, мінімізація енергоспоживання та підвищення ефективності управління ресурсами. Для досягнення цих цілей використовуються мультисенсорні технології, алгоритми адаптивного управління та методи аналізу даних. Розвиток цих систем обумовлений сучасними тенденціями в енергоефективності, необхідністю забезпечення екологічної стійкості та зростаючими очікуваннями користувачів щодо якості мікроклімату. Сучасні дослідження підтверджують, що адаптивні системи можуть значно скоротити енергоспоживання до 30%, що є важливим фактором у контексті глобального підвищення тарифів на енергоресурси.

У даному підрозділі було проведено аналітичний огляд існуючих систем адаптивного моніторингу, їх ключових характеристик, методів обробки даних та інтеграції сенсорів. Основними критеріями для оцінки є важливість, повнота та точність інформації, що використовується для виконання поставлених задач у системах. Ці критерії дозволяють оцінити ефективність системи та її здатність до адаптації в умовах зміни параметрів зовнішнього середовища.

При цьому важливу роль відіграє здатність системи реагувати на зміни в реальному часі, що особливо актуально для сучасних промислових об’єктів та офісів, де параметри мікроклімату можуть змінюватися досить динамічно. Важливим аспектом є також інтеграція систем із загальною інфраструктурою розумного будинку, що забезпечує підвищення ефективності та комфортності використання.

Для ефективної роботи систем адаптивного моніторингу визначаються такі критерії оцінки інформації:

Важливість інформації є узагальненим показником, який характеризує значущість інформації в контексті її призначення та умов обробки. Інформація повинна бути релевантною до завдань управління, моніторингу, персоналізації мікрокліматом.

Це означає, що дані, зібрані сенсорами, повинні точно відповідати реальним умовам, у яких система функціонує. Наприклад, відсутність параметра якості повітря може суттєво знизити ефективність системи в умовах промислових або офісних приміщень. Крім того, значущість даних зростає в умовах критичних змін зовнішнього середовища, наприклад, під час сезонних перепадів температури. У розробці адаптивних систем варто враховувати також вплив метеорологічних умов на роботу обігрівальних і вентиляційних систем.

Повнота інформації визначає, чи достатньо інформації для вирішення конкретних завдань. Система повинна враховувати всі параметри, що впливають на мікроклімат, включаючи температуру, вологість, якість повітря, рівень освітлення та вміст CO₂. Для забезпечення цього критерію сучасні системи використовують багатоканальні сенсори та алгоритми інтеграції даних.

Наприклад, у складних кліматичних зонах, де температура та вологість змінюються швидко, необхідно застосовувати сенсори з високою частотою оновлення даних. Це дозволяє вчасно коригувати параметри роботи системи для підтримання оптимальних умов.

Точність інформації характеризує ступінь відповідності даних реальним параметрам середовища. Висока точність необхідна для забезпечення адаптивного управління. Наприклад, неточності в показаннях сенсорів температури можуть призвести до значних витрат енергії або погіршення комфортних умов для користувачів. Крім того, точність вимірювань є критичною для оптимізації роботи виконавчих пристроїв, таких як системи обігріву чи охолодження. Технології автоматичної калібровки сенсорів значно покращують цей аспект, забезпечуючи високу надійність отриманих даних.

Аналіз існуючих систем. Для оцінки сучасних систем адаптивного моніторингу мікроклімату було визначено наступні ключові параметри: тип сенсорів, які

використовуються для збору даних, алгоритми адаптивного управління, протоколи передачі даних, можливість інтеграції з іншими системами розумного будинку та загальна енергоефективність. Розглянемо основні характеристики деяких сучасних рішень.

Rehau NEA Smart 2.0 використовує мультисенсорний підхід із сенсорами температури та вологості [23]. Алгоритм управління базується на PID-регуляторах, що забезпечують точне підтримання заданих параметрів мікроклімату. Перевагою цієї системи є її інтеграція з HVAC через стандартні протоколи MQTT та HTTP, що робить її легкою в налаштуванні та експлуатації. Висока точність вимірювань у поєднанні з простотою використання дозволяє цій системі ефективно працювати в житлових і комерційних приміщеннях. Особливістю цієї системи є також наявність мобільного додатку, що дозволяє користувачам налаштовувати параметри роботи дистанційно.

Loxone Smart Home оснащена сенсорами температури та CO₂, а також використовує методи навчання з підкріплення для прогнозування змін параметрів мікроклімату. Вона підтримує сценарії автоматизації, які адаптуються до часу доби, погоди та інших умов. Це дозволяє забезпечувати більш точне управління мікрокліматом. Наприклад, під час зниження температури система автоматично регулює роботу обігрівачів для підтримки комфортних умов без додаткового втручання користувача. Її модульна структура забезпечує можливість додавання нових сенсорів без порушення загальної роботи системи.

Nest Thermostat орієнтована на мінімізацію енерговитрат за допомогою алгоритмів машинного навчання. Система автоматично налаштовує параметри мікроклімату на основі звичок користувача, забезпечуючи при цьому високу точність вимірювань завдяки вбудованим сенсорам. Крім того, система враховує рівень енергоспоживання, що дозволяє значно скоротити витрати на опалення та охолодження приміщень. Вона також інтегрується з іншими розумними пристроями, такими як датчики руху чи освітлення, що підвищує загальну ефективність.

Характеристики сучасних систем адаптивного моніторингу мікроклімату наведено у таблиці 1.1 [17].

Характеристики сучасних систем адаптивного моніторингу мікроклімату

№ п/п	Система	Тип сенсорів	Алгоритми управління	Протоколи передачі даних	Особливості
1.	Rehau NEA Smart 2.0	Температура, вологість	PID-регулятор	MQTT, HTTP	Легка інтеграція з HVAC
2.	Loxone Smart Home	Температура, CO ₂	Метод навчання з підкріплення	MQTT, Modbus	Підтримка сценаріїв
3.	Nest Thermostat	Температура	Машинне навчання	WiFi	Автоматичне налаштування

1.2. Аналіз методів інтеграції мультисенсорних систем

Інтеграція мультисенсорних систем є одним із ключових аспектів адаптивного моніторингу мікроклімату. Загалом такі системи забезпечують не лише збір даних із декількох сенсорів, але й їх складну обробку, кластеризацію та прогнозування параметрів мікроклімату. Це дозволяє створювати системи, здатні забезпечувати комфортні умови навіть у складних та змінних середовищах.

Для реалізації цих функцій використовуються спеціалізовані алгоритми кластеризації та прогнозування, які допомагають виявляти закономірності у великих обсягах даних та швидко адаптуватися до змін. Особливої уваги заслуговують алгоритми обробки великих обсягів даних, що забезпечують високу швидкість реакції та точність роботи системи. Технології паралельної обробки даних дозволяють значно скоротити час на аналіз інформації, що є критично важливим у системах реального часу. Зокрема, такі підходи забезпечують більш ефективну синхронізацію між сенсорами, контролерами та виконавчими пристроями, що є ключовим для високопродуктивних рішень.

На рис. 1.1 зображено структурну схему системи контролю мікроклімату. Схема демонструє взаємодію сенсорів, контролера та виконавчих пристроїв, що забезпечує ефективне управління параметрами мікроклімату. Така архітектура

дозволяє інтегрувати додаткові модулі або сенсори без необхідності значних змін у системі. Інтеграція додаткових компонентів також забезпечує зменшення впливу збоїв, оскільки окремі модулі можуть продовжувати працювати незалежно один від одного.

Наприклад, сенсори, що вимірюють рівень CO₂, можуть працювати окремо від сенсорів температури, але водночас синхронізувати свої дані для покращення загальної ефективності системи. Крім того, використання резервних компонентів підвищує надійність системи, забезпечуючи її безперебійну роботу навіть у разі часткових відмов обладнання. Архітектура таких систем часто передбачає використання хмарних платформ для зберігання та аналізу даних, що дозволяє масштабувати рішення без суттєвого збільшення витрат на інфраструктуру [19].

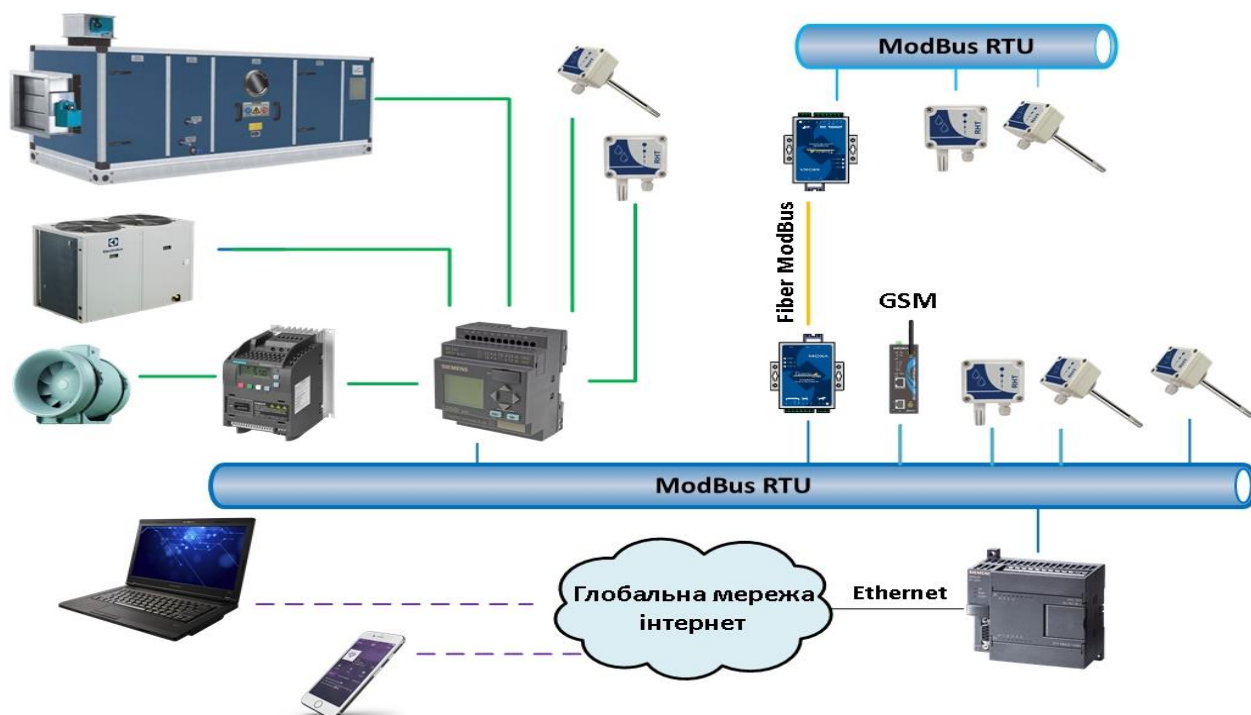


Рис. 1.1. Структурна схема системи контролю мікроклімату

Методи інтеграції мультисенсорних систем варіюються від простих рішень, заснованих на використанні окремих сенсорів, до комплексних систем, що об'єднують дані з різних джерел у реальному часі. Наприклад, Rehau NEA Smart 2.0 підтримує управління параметрами температури та вологості, використовуючи PID-

регулятор для підтримки стабільного мікроклімату. Висока точність сенсорів забезпечує ефективну роботу навіть у змінних умовах середовища. Ця система також має можливість автоматичного налаштування параметрів роботи залежно від часу доби або рівня активності користувачів. Додатково вона інтегрується із системами HVAC через протоколи MQTT, що забезпечує простоту налаштування і високу швидкість передачі даних.

Інша система, Loxone Smart Home, забезпечує моніторинг температури, рівня CO₂ та інших параметрів, використовуючи алгоритми навчання з підкріплення для прогнозування змін параметрів мікроклімату. Її модульна структура забезпечує можливість додавання нових сенсорів без порушення загальної роботи системи. Це дозволяє значно розширювати функціональність системи в умовах змінних вимог користувачів. Крім того, система автоматично налаштовує сценарії управління, враховуючи погодні умови, час доби та навіть сезонні коливання. Наприклад, під час високої сонячної активності вона знижує роботу обігрівачів для запобігання перегріву приміщення.

Nest Thermostat, орієнтована на зниження витрат, зберігаючи високу точність і швидкість реагування, використовує інноваційні методи для підтримки стабільності мікроклімату. Вона інтегрується з іншими розумними пристроями, такими як датчики руху та освітлення, що дозволяє створювати комплексні сценарії автоматизації. Наприклад, під час тривалої відсутності користувачів система автоматично переходить у режим енергозбереження, знижуючи витрати без шкоди для комфорту. Особливістю цієї системи є також її здатність до самонавчання: вона аналізує звички користувача і відповідно коригує параметри роботи, забезпечуючи ще більшу енергоефективність.

Додатково, сучасні системи інтеграції включають використання відкритих протоколів передачі даних, таких як MQTT і HTTP, що забезпечує зручність обміну даними між компонентами системи. Це дозволяє легко інтегрувати адаптивні системи з іншими компонентами розумного будинку, такими як системи освітлення чи охорони. Наприклад, у випадку підвищення рівня CO₂ у приміщенні система автоматично взаємодіє з вентиляційними установками, щоб збалансувати параметри

мікроклімату [7]. Водночас, використання таких протоколів сприяє зниженню витрат на інтеграцію та обслуговування системи, оскільки вони базуються на стандартизованих рішеннях.

Інтеграція мультисенсорних систем також дозволяє зменшити енергоспоживання шляхом оптимізації роботи виконавчих пристроїв. Наприклад, у великих будівлях система може автоматично знижувати інтенсивність роботи обігрівачів або кондиціонерів у зонах, де відсутні люди. Такі підходи не лише підвищують ефективність, але й сприяють зменшенню викидів парникових газів, що є важливим у контексті глобальної боротьби зі зміною клімату. У багатозональних системах такі функції дозволяють забезпечувати індивідуальні параметри мікроклімату для кожного приміщення, що значно підвищує комфорт користувачів.

На завершення, інтеграція мультисенсорних систем є критично важливим аспектом для забезпечення ефективності та надійності адаптивних систем моніторингу мікроклімату. Використання сучасних алгоритмів обробки даних, відкритих протоколів передачі та модульних архітектур дозволяє створювати гнучкі та масштабовані рішення, які відповідають потребам як житлових, так і комерційних приміщень. Майбутній розвиток таких систем спрямований на ще більшу автоматизацію процесів і інтеграцію з іншими компонентами розумного будинку, що забезпечить їх популярність і практичність серед користувачів.

1.3. Розвиток стандартів та нормативних вимог до систем адаптивного моніторингу мікроклімату

Нормативні вимоги та стандарти є важливою складовою процесу розробки та впровадження систем адаптивного моніторингу мікроклімату в розумних будинках. Вони визначають основні технічні, функціональні та безпекові аспекти, які мають бути враховані під час проектування таких систем. Розвиток стандартів сприяє не

лише уніфікації підходів, але й забезпечує інтеграцію між різними компонентами розумного будинку.

Міжнародні стандарти, такі як ISO (International Organization for Standardization), надають рекомендації щодо проектування, експлуатації та безпеки систем моніторингу. Наприклад, стандарт ISO 16484 визначає загальні принципи автоматизації будівель і керування системами HVAC (опалення, вентиляція та кондиціонування). Цей стандарт охоплює як аспекти проектування, так і підтримки обладнання протягом усього життєвого циклу. Його рекомендації включають використання протоколів обміну даними, таких як BACnet, що дозволяє забезпечити сумісність між компонентами різних виробників.

Європейські стандарти, такі як EN 15232, акцентують увагу на енергетичній ефективності автоматизованих систем управління будівлями. Цей документ визначає методи оцінки ефективності систем управління, враховуючи їх вплив на енергоспоживання. Наприклад, у стандарті наводяться рекомендації щодо оптимального розташування сенсорів, калібрування обладнання та регулярного технічного обслуговування для забезпечення максимальної точності вимірювань.

У локальному контексті, в Україні розробка систем адаптивного моніторингу регламентується кількома нормативними актами та стандартами. Наприклад, ДСТУ Б EN 15251:2011 визначає параметри мікроклімату приміщень, які враховуються під час проектування систем. Цей стандарт встановлює допустимі діапазони температури, вологості, рівня CO₂ та інших параметрів, необхідних для забезпечення комфортного середовища. Додатково, ДСТУ Б В.2.5-28:2018 регулює вимоги до енергоефективності будівель, що включає аспекти оптимізації роботи систем моніторингу та управління мікрокліматом.

Важливо також зазначити, що стандарти не є статичними документами. Вони постійно оновлюються, враховуючи новітні технології, тенденції в енергоефективності та екологічні вимоги. Наприклад, зростання популярності відновлюваних джерел енергії та технологій збереження енергії вплинуло на оновлення стандартів щодо інтеграції систем моніторингу з такими джерелами. У

цьому контексті, використання стандарту ISO 50001 для енергоменеджменту сприяє впровадженню систем, які оптимізують споживання енергії в розумних будинках.

Окремо слід виділити нормативні вимоги, які стосуються безпеки та захисту даних. Зокрема, стандарт ІЕС 62443 визначає підходи до забезпечення кібербезпеки для систем автоматизації. У разі використання хмарних платформ для зберігання даних необхідно враховувати вимоги GDPR (General Data Protection Regulation) у Європейському Союзі, які регламентують захист персональних даних користувачів. Інтеграція цих вимог у процес проектування систем моніторингу дозволяє не лише підвищити їх безпеку, але й уникнути юридичних ризиків.

Розвиток стандартів також сприяє створенню відкритих екосистем, де компоненти різних виробників можуть працювати разом. Це особливо актуально в умовах швидкого розвитку ринку розумних будинків, де сумісність між пристроями є ключовим фактором успіху. Наприклад, протоколи передачі даних, такі як ZigBee, Z-Wave або MQTT, широко використовуються для інтеграції адаптивних систем із іншими елементами розумного будинку, включаючи системи безпеки, освітлення та управління енергоспоживанням.

Тому, розвиток стандартів і нормативних вимог до систем адаптивного моніторингу є важливим напрямом, який впливає на ефективність, безпеку та зручність використання таких рішень. Постійне оновлення стандартів забезпечує їх актуальність у сучасних умовах та сприяє інтеграції нових технологій, що дозволяє створювати більш досконалі системи моніторингу мікроклімату для розумних будинків.

1.4. Аналіз енергоспоживання та персоналізації сучасних систем управління мікрокліматом

На сучасному етапі розвитку адаптивних систем управління мікрокліматом важливо враховувати не лише технічну реалізацію, але й енергоефективність та можливість персоналізації [23]. Енергоефективність є одним із ключових параметрів, які визначають загальну ефективність роботи системи, особливо в умовах

глобального зростання витрат на енергоресурси та необхідності скорочення викидів вуглекислого газу.

Одним із найпоширеніших методів зниження енергоспоживання є оптимізація роботи виконавчих пристроїв, таких як вентилятори, кондиціонери та обігрівачі. Наприклад, інтелектуальні алгоритми дозволяють автоматично регулювати швидкість роботи вентиляторів залежно від рівня CO₂ у приміщенні, що не лише покращує якість повітря, але й економить енергію.

Ще одним напрямком оптимізації є використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі чи вітрові турбіни. Наприклад, сучасні системи управління мікрокліматом можуть інтегруватися із системами збору сонячної енергії, накопичувати її протягом дня та використовувати для роботи системи обігріву вночі. Це дозволяє значно скоротити витрати на електроенергію та зменшити навантаження на центральні енергомережі. Особливо ефективними такі рішення є для великих будівель, де енергоспоживання значно перевищує середні показники для житлових приміщень.

Особливу увагу в сучасних системах приділено персоналізації, яка базується на аналізі поведінки користувачів. Персоналізація дозволяє адаптивним системам налаштовувати параметри мікроклімату з урахуванням індивідуальних потреб користувачів, таких як їхні звички, розклад дня та особливості комфорту. Наприклад, історичні дані про температуру та вологість у приміщенні дозволяють системі прогнозувати оптимальні умови для кожного конкретного часу доби. У ранкові години система може підвищувати температуру до комфортного рівня, щоб користувач міг легко прокинутися, а ввечері знижувати її для забезпечення комфортного сну.

Додатково, індивідуалізація системи забезпечується створенням інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів. Багато сучасних систем включають мобільні додатки, які дозволяють користувачам контролювати мікроклімат у реальному часі, змінювати параметри чи переглядати звіти про енергоспоживання.

Наприклад, такі рішення, як Nest Thermostat, надають користувачам можливість не лише змінювати налаштування, але й отримувати рекомендації щодо

енергоефективності на основі аналізу їхніх звичок. Крім того, інтеграція з голосовими помічниками, такими як Google Assistant чи Amazon Alexa, дозволяє користувачам керувати системою без фізичного втручання.

Серед існуючих рішень, які варто виділити, є система Tado Smart Thermostat. Вона не лише дозволяє користувачам налаштовувати температуру, але й використовує дані GPS для визначення місцезнаходження мешканців. Наприклад, якщо користувачі залишають будинок, система автоматично знижує температуру, що значно економить енергію.

Інша система – Ecobee SmartThermostat інтегрується з багатьма пристроями розумного будинку та враховує не лише температуру, але й рівень вологості та CO₂ у приміщенні. Завдяки датчикам, розташованим у різних зонах, Ecobee забезпечує оптимальний баланс мікроклімату в кожному приміщенні, що особливо корисно для великих будинків.

Додаткові технології, такі як інтелектуальні термостати, дозволяють адаптувати параметри мікроклімату в режимі реального часу. Це забезпечується використанням алгоритмів машинного навчання, які дозволяють системі не лише адаптуватися до змін, але й прогнозувати їх. Наприклад, якщо система передбачає різке зниження температури ввечері, вона може заздалегідь активувати обігрівальні пристрої, забезпечуючи комфорт для користувачів без зайвих витрат енергії. Такі рішення є особливо ефективними в умовах великих будівель, де необхідна точна координація між різними зонами.

Системи управління мікрокліматом також інтегрують зовнішні джерела даних, такі як метеорологічні прогнози, для покращення своїх прогнозних функцій. Це дозволяє їм працювати з випередженням, забезпечуючи максимальну енергоефективність. Наприклад, якщо прогнозується підвищення температури вдень, система може заздалегідь знизити інтенсивність роботи обігрівачів, зменшуючи споживання енергії. Такий підхід також допомагає зменшити викиди вуглекислого газу, що є важливим у контексті глобальної боротьби зі зміною клімату.

Таким чином, аналіз енергоспоживання та персоналізації сучасних систем управління мікрокліматом демонструє, що ці аспекти є ключовими для підвищення

ефективності та комфорту. Інтеграція інноваційних технологій, таких як алгоритми машинного навчання, інтелектуальні термостати та використання альтернативних джерел енергії, дозволяє створювати адаптивні системи, які забезпечують оптимальні умови для користувачів при мінімальних витратах енергії. Майбутній розвиток цих систем спрямований на ще більшу інтеграцію з іншими елементами розумного будинку, що забезпечить їхню популярність серед кінцевих користувачів.

1.5. Висновки до розділу 1

На основі аналізу наукових та аналітичних матеріалів сучасні системи адаптивного моніторингу мікроклімату демонструють широкий спектр можливостей для забезпечення комфорту та енергоефективності, проте вони потребують подальшого вдосконалення в декількох ключових аспектах.

Одним із найважливіших напрямів є інтеграція сенсорів, яка дозволяє збирати більш точні та різноманітні дані про стан мікроклімату. Розвиток технологій точного прогнозування та вдосконалення алгоритмів адаптивного управління дозволяє не лише підвищити точність систем, але й оптимізувати їх роботу в реальному часі, що є важливим для забезпечення стабільності мікроклімату в змінних умовах середовища.

Особливу увагу слід приділяти використанню мультисенсорних технологій, які забезпечують комплексний підхід до збору даних. Наприклад, поєднання сенсорів температури, вологості, рівня CO₂ та освітленості створює можливості для більш точної оцінки стану приміщення. Такі технології сприяють зниженню енергоспоживання та підвищенню ефективності систем за рахунок кращої адаптації до умов середовища. Застосування новітніх протоколів передачі даних, таких як MQTT або ZigBee, забезпечує швидкість та надійність обміну інформацією між компонентами системи, що є критично важливим для інтеграції у розумні будинки.

Майбутні дослідження повинні бути зосереджені на розробці універсальних рішень, які забезпечать максимальну гнучкість і точність. Це включає створення алгоритмів прогнозування, здатних адаптуватися до швидких змін умов середовища,

а також впровадження самонавчальних систем, які враховують поведінкові звички користувачів.

Персоналізація систем залишається важливим фактором, який визначає їхню популярність серед кінцевих користувачів. Інтеграція з іншими компонентами розумного будинку, такими як освітлення, безпека чи мультимедіа, значно розширює функціональні можливості адаптивних систем, роблячи їх незамінними для забезпечення комфорту та безпеки.

Крім того, використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітрові турбіни, відкриває нові перспективи для адаптивних систем моніторингу мікроклімату. Це дозволить значно знизити експлуатаційні витрати та зменшити вуглецевий слід, що є важливим у контексті глобальних змін клімату. Удосконалення технологій енергоефективності та розробка нових протоколів передачі даних сприятиме інтеграції таких систем у більш складні екосистеми розумних будинків та розширенню їхньої функціональності.

Таким чином, подальший розвиток цих технологій стане основою для створення більш надійних, ефективних та зручних систем адаптивного моніторингу мікроклімату.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРОБКИ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

2.1. Математичні моделі адаптивного управління мікрокліматом

Математичні моделі є фундаментальною основою для розробки адаптивних систем управління мікрокліматом у розумних будинках [4]. Ці моделі дозволяють описувати динаміку параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, рівень вуглекислого газу (CO_2) тощо, а також розробляти ефективні алгоритми управління.

Застосування таких моделей забезпечує точне регулювання параметрів мікроклімату в реальному часі, що є важливим для забезпечення комфорту користувачів і підвищення енергоефективності системи, адаптивності, персоналізації, та оптимізації енерговитрат.

У рамках адаптивного управління мікрокліматом широко використовуються математичні моделі, які ґрунтуються на фізичних законах тепло- та масообміну. Наприклад, рівняння теплопровідності дозволяють оцінювати динаміку зміни температури в приміщенні залежно від зовнішніх умов, теплоізоляційних властивостей будівлі та роботи системи обігріву або охолодження. Вологість повітря моделюється з використанням рівнянь масообміну, які враховують випаровування та конденсацію вологи в повітрі.

Адаптивне управління мікрокліматом у розумному будинку базується на комбінації PID-регулювання та методів машинного навчання, що дозволяють враховувати динамічні зміни параметрів середовища, таких як температура, вологість, рівень CO_2 та освітленість.

Такий підхід дозволяє забезпечити точну стабілізацію параметрів мікроклімату та прогнозування змін у режимі реального часу. PID-регулятори забезпечують базове управління, а методи машинного навчання підвищують адаптивність системи за рахунок аналізу даних із сенсорів.

Основні етапи комбінованого підходу:

- PID-регулювання:

- а) Пропорційний (P), інтегральний (I) та диференційний (D) контролі стабілізують параметри мікроклімату.

- Методи машинного навчання:

- а) використання алгоритмів кластеризації для визначення закономірностей у даних;

- б) впрогнозування майбутніх змін параметрів на основі історичних даних.

Система управління мікрокліматом зазвичай включає:

- модуль реагування, що забезпечує виконання рішень, наприклад, через зміну налаштувань систем кондиціонування чи вентиляції;

- модуль прийняття рішень, який аналізує вхідні дані від сенсорів і формує оптимальну стратегію управління.

На основі комбінації PID-регуляторів і машинного навчання забезпечується ефективне управління параметрами мікроклімату з урахуванням змін у режимі реального часу [16].

Загальна схема архітектури системи адаптивного управління мікрокліматом зображено на рис. 2.1.

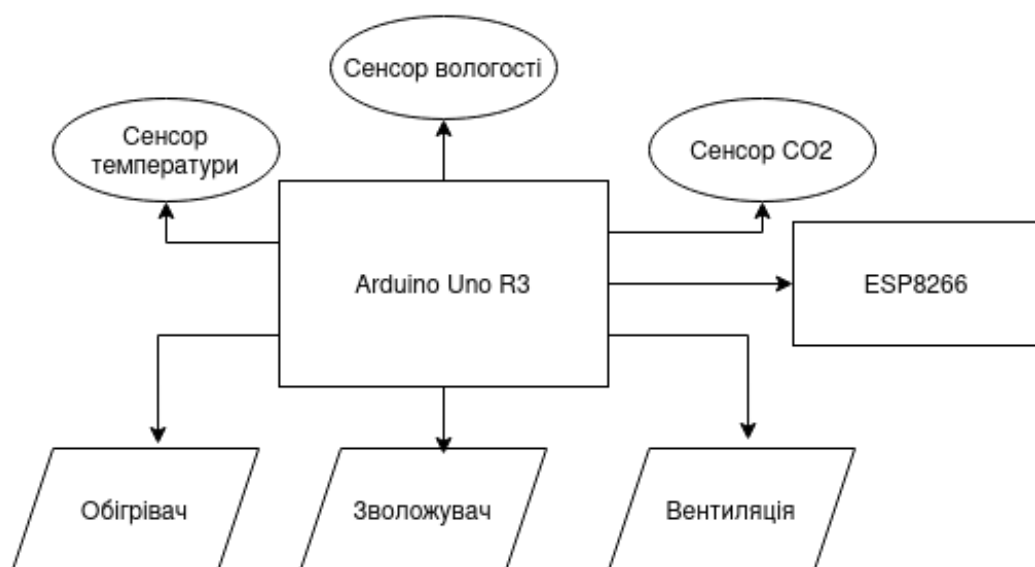


Рис. 2.1. Загальна схема архітектури системи адаптивного управління мікрокліматом

Пропорційний контроль (P)**: Реагує на поточну похибку, забезпечуючи базову стабілізацію параметра. 2. Інтегральний контроль (I): Накопичує похибку для компенсації систематичних відхилень. 3. Диференційний контроль (D): Реагує на швидкість зміни похибки, запобігаючи коливанням.

Система управління мікрокліматом включає:

- модуль прийняття рішень, що об'єднує PID-регулювання для негайної реакції та машинне навчання для довгострокового прогнозування;
- модуль реагування, який керує виконавчими пристроями, такими як обігрівачі, кондиціонери та системи вентиляції.

На рис. 2.2 представлено схему енергоспоживання в системі управління мікрокліматом.

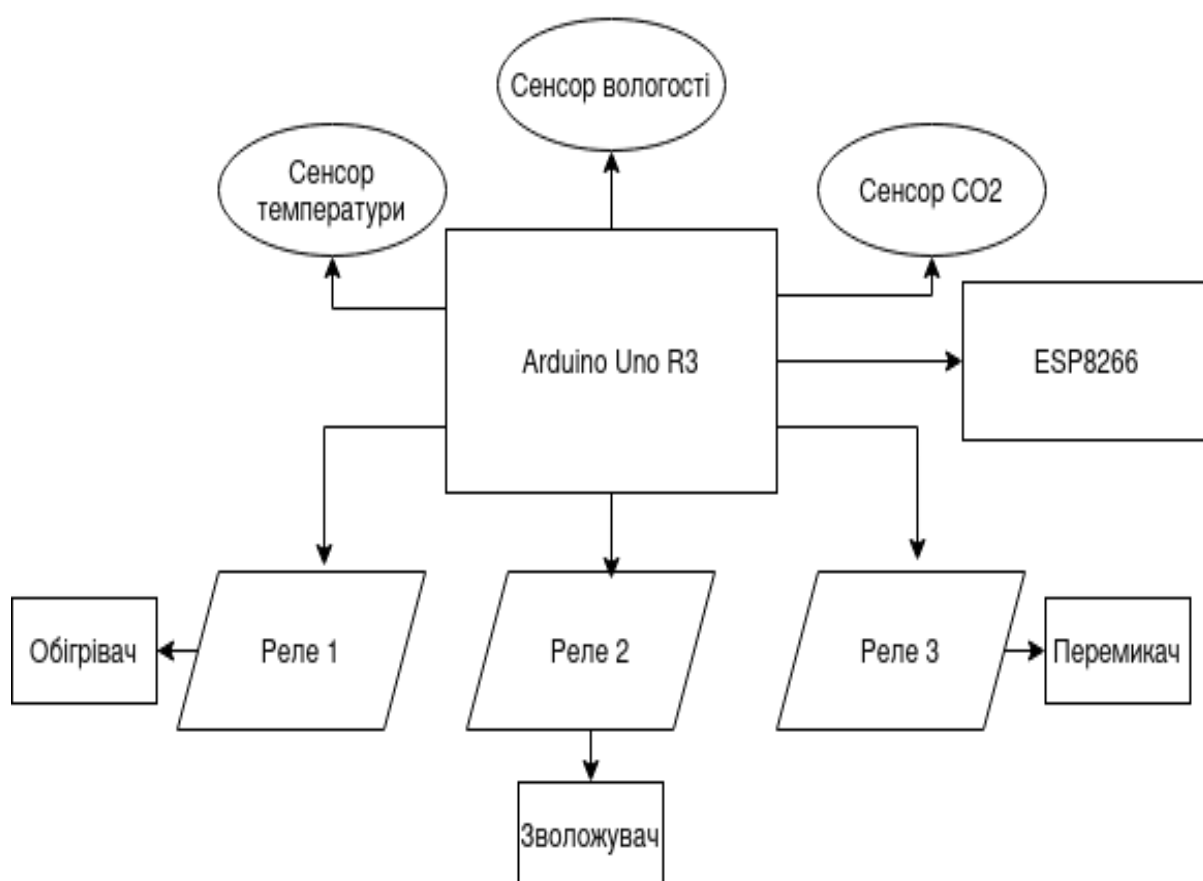


Рис. 2.2. Схема енергоспоживання в системі управління мікрокліматом

На основі PID-регуляторів система здатна адаптуватися до змін середовища в режимі реального часу. Це дозволяє аналізувати вхідні дані від сенсорів і формує

оптимальну стратегію управління, що забезпечує правильне виконання рішень, наприклад, через зміну налаштувань систем кондиціонування чи вентиляції. Характеристики математичних моделей адаптивного управління мікрокліматом наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

**Характеристики математичних моделей адаптивного управління
мікрокліматом**

№ п/п	Тип моделі	Переваги	Недоліки
1.	PID-регулятори	Простота реалізації	Обмежена адаптивність
2.	Методи машинноо навчання	Висока точність прогнозування	Велика обчислювальна складність
3.	Алгоритми прогнозування	Гнучкість	Залежність від якості даних

Однією з ключових задач є розробка алгоритмів управління, які забезпечують стабільність системи навіть у змінних умовах. Наприклад, PID-регулятори (пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори) є базовим інструментом для управління параметрами мікроклімату. Вони дозволяють підтримувати задані значення температури та вологості, мінімізуючи відхилення. Однак, класичні PID-регулятори мають обмеження при роботі в складних і динамічних середовищах, що зумовило необхідність їх удосконалення. Зокрема, впровадження адаптивних PID-регуляторів із самооптимізацією параметрів дозволяє забезпечити більш високу точність і швидкість реагування системи.

Крім PID-регуляторів, все ширшого застосування набувають алгоритми машинного навчання [16]. Наприклад, нейронні мережі можуть використовуватися для прогнозування параметрів мікроклімату на основі історичних даних і поточних показників. Це дозволяє системі завчасно коригувати свою роботу, наприклад,

збільшувати інтенсивність охолодження під час прогнозованого підвищення температури [17]. Алгоритми навчання з підкріплення забезпечують можливість оптимізації роботи системи на основі її ефективності в реальних умовах експлуатації.

Значну увагу також приділяють інтеграції математичних моделей у багатофункціональні системи розумного будинку. Наприклад, модель теплового балансу приміщення може враховувати вплив освітлення, роботи побутових приладів і навіть кількість людей у приміщенні. Це дозволяє системі адаптувати свою роботу відповідно до змінюваних умов, забезпечуючи оптимальний мікроклімат із мінімальними енергозатратами.

Сучасні математичні моделі також враховують взаємодію з альтернативними джерелами енергії, такими як сонячні панелі або вітрові турбіни. Наприклад, модель прогнозування енергоспоживання може інтегрувати дані про інтенсивність сонячного випромінювання для оптимального використання енергії, що генерується. Такі моделі дозволяють значно підвищити ефективність роботи системи і знизити її залежність від традиційних джерел енергії.

Інтеграція математичних моделей із хмарними обчисленнями є ще одним важливим напрямом. Використання хмарних платформ дозволяє збирати та аналізувати дані з великої кількості сенсорів, що забезпечує більш точне моделювання і прогнозування. Наприклад, обчислення в хмарі дозволяють обробляти дані в реальному часі, враховуючи інформацію про зовнішні кліматичні умови, такі як температура, вологість і швидкість вітру. Це особливо важливо для великих об'єктів, де локальні ресурси обчислювальної техніки можуть бути недостатніми для обробки великих обсягів даних.

Підсумовуючи, розвиток математичних моделей для адаптивного управління мікрокліматом спрямований на створення універсальних, гнучких і масштабованих рішень, які можуть враховувати широкий спектр зовнішніх і внутрішніх факторів. Вдосконалення таких моделей дозволяє забезпечити більш високу ефективність, енергоощадність і комфорт, що робить їх незамінними компонентами сучасних розумних будинків.

2.2. Оптимізація енергоспоживання системи управління

Оптимізація енергоспоживання є одним із ключових завдань при розробці систем управління мікрокліматом. В умовах зростання цін на енергоресурси та зростаючих екологічних вимог, впровадження енергоефективних рішень стає все більш актуальним. Системи управління мікрокліматом у розумних будинках мають забезпечувати не лише комфортні умови для користувачів, але й мінімізувати витрати енергії на обігрів, охолодження та вентиляцію приміщень.

Одним із головних напрямів оптимізації енергоспоживання є вдосконалення алгоритмів управління. Наприклад, використання адаптивних алгоритмів дозволяє системі автоматично підлаштовуватися під змінювані умови середовища. Це досягається за рахунок використання прогнозних моделей, які враховують не лише поточний стан приміщення, але й майбутні зміни, такі як коливання зовнішньої температури чи рівня вологості. Наприклад, система може знизити інтенсивність роботи кондиціонера вночі, коли температура природно знижується, або врахувати прогноз дощу для оптимізації вентиляції.

Енергоефективність також досягається за рахунок інтеграції відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі або вітрові турбіни. Вони забезпечують додаткове джерело енергії для системи, що дозволяє знизити навантаження на традиційні джерела. Наприклад, у сонячний день система може використовувати енергію, отриману від панелей, для роботи кондиціонерів або обігрівачів. Інтеграція таких рішень дозволяє не лише знизити витрати на енергоресурси, але й зменшити викиди вуглекислого газу, що є важливим для екологічної стійкості.

Ще одним важливим аспектом є використання інтелектуальних сенсорів, які забезпечують більш точний моніторинг параметрів мікроклімату [22]. Завдяки цьому система може працювати більш ефективно, наприклад, автоматично вимикаючи обігрів у приміщеннях, де немає людей, або знижуючи рівень вентиляції в приміщеннях із низькою концентрацією CO₂. Такі рішення дозволяють зменшити споживання енергії без шкоди для комфорту користувачів.

Важливим інструментом для оптимізації енергоспоживання є також використання IoT-технологій. Інтернет речей дозволяє інтегрувати всі компоненти системи управління мікрокліматом у єдину мережу, що забезпечує зручне керування та аналіз даних. Наприклад, система може отримувати дані про споживання енергії від усіх підключених пристроїв і використовувати ці дані для оптимізації роботи. Крім того, IoT-технології забезпечують можливість дистанційного керування системою, що дозволяє користувачам контролювати її роботу з будь-якого місця.

Значну увагу також приділяють розробці нових матеріалів для теплоізоляції, які дозволяють зменшити теплові втрати. Наприклад, використання наноматеріалів у конструкціях стін і вікон забезпечує кращу теплоізоляцію, що знижує витрати енергії на обігрів приміщень. Такі матеріали можуть бути інтегровані в розумні будинки, забезпечуючи додатковий рівень енергоефективності.

Сучасні системи також активно використовують алгоритми прогнозування енергоспоживання. Вони базуються на аналізі історичних даних і враховують зовнішні фактори, такі як зміни погоди або варіабельність енергетичних тарифів. Наприклад, система може заздалегідь збільшити інтенсивність обігріву під час очікуваного похолодання або, навпаки, знизити споживання під час пікових тарифів на електроенергію [24]. Це дозволяє оптимізувати витрати енергії без шкоди для комфорту.

Інтеграція систем управління мікрокліматом із зовнішніми платформами, такими як хмарні сервіси, відкриває нові можливості для підвищення ефективності. Хмарні обчислення дозволяють системі аналізувати великі обсяги даних у реальному часі та забезпечувати більш точне прогнозування. Наприклад, дані про погоду, отримані з відкритих джерел, можуть бути використані для динамічної адаптації роботи системи. Крім того, хмарні сервіси забезпечують зберігання даних, що дозволяє користувачам отримувати доступ до історії споживання енергії та аналізувати її для подальшої оптимізації.

На рис. 2.3 зображено графік оптимізації енергоспоживання, отриманий на основі розрахунків PID-регулятора та алгоритмів навчання.

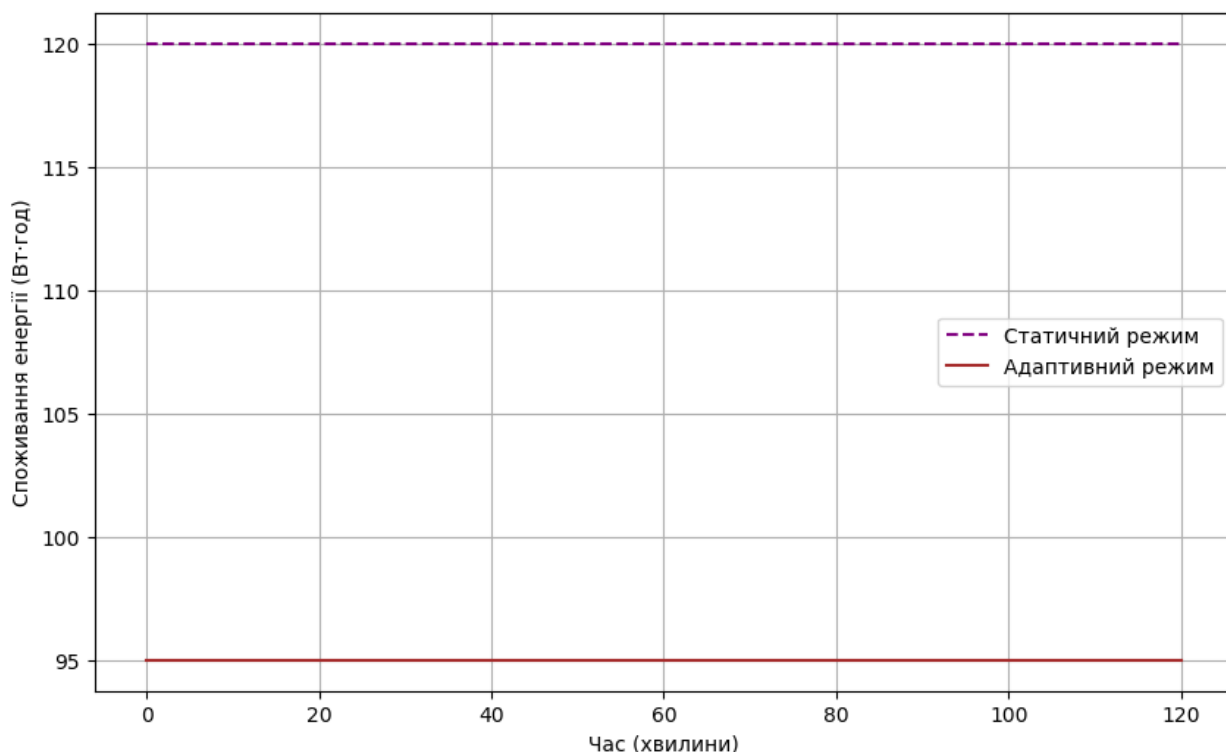


Рис. 2.3. Графік оптимізації енергоспоживання, отриманий на основі розрахунків PID-регулятора та алгоритмів навчання

Підсумовуючи, оптимізація енергоспоживання в системах управління мікрокліматом є багатогранним завданням, яке включає вдосконалення алгоритмів управління, інтеграцію відновлюваних джерел енергії, використання інтелектуальних сенсорів і нових матеріалів. Ці заходи дозволяють не лише знизити витрати на енергоресурси, але й забезпечити більш екологічно чисте та комфортне середовище для користувачів.

2.3. Використання штучного інтелекту для підвищення ефективності адаптивного управління мікрокліматом

Впровадження штучного інтелекту (ШІ) у системи адаптивного управління мікрокліматом відкриває нові можливості для підвищення їх ефективності, гнучкості та точності. Сучасні алгоритми машинного навчання, нейронні мережі та інші технології штучного інтелекту дозволяють створювати рішення, які адаптуються до

змін зовнішніх умов та індивідуальних потреб користувачів у реальному часі. Вони здатні аналізувати великі обсяги даних, виявляти приховані закономірності та приймати оптимальні рішення для управління параметрами мікроклімату.

III дозволяє об'єднувати дані з різних сенсорів, таких як температурні датчики, вологоміри, сенсори освітленості та рівня забрудненості повітря. Це забезпечує більш точну картину стану мікроклімату, що дозволяє системі приймати більш ефективні рішення. Наприклад, у разі підвищення вологості система може автоматично збільшити інтенсивність роботи осушувача повітря.

Значну роль у використанні III відіграють алгоритми навчання з підкріплення. Вони забезпечують можливість оптимізації роботи системи шляхом її навчання в реальних умовах експлуатації. Наприклад, система може навчитися реагувати на звички користувачів знижувати температуру вночі, підвищувати її перед поверненням людей додому або автоматично активувати вентиляцію в разі підвищення рівня CO.

III також допомагає знизити витрати на енергоресурси, аналізуючи дані про споживання енергії, прогнозуючи пікові навантаження та інтегруючи відновлювані джерела енергії. Наприклад, система може керувати використанням енергії від сонячних панелей для обігріву або охолодження приміщень у залежності від прогнозу погоди.

Прикладом таких систем є Nest Thermostat, який використовує алгоритми машинного навчання для автоматичного налаштування параметрів мікроклімату на основі звичок користувачів. Це дозволяє значно знизити витрати енергії, забезпечуючи при цьому комфортні умови. Інший приклад - Loxone Smart Home, що інтегрує методи навчання з підкріплення для адаптації до змінних умов і забезпечення сценаріїв автоматизації. Наприклад, система може автоматично регулювати параметри мікроклімату залежно від часу доби або кількості людей у приміщенні.

Підсумовуючи, використання III у системах управління мікрокліматом дозволяє досягти нових рівнів ефективності, гнучкості та комфорту. Це робить такі рішення незамінними в умовах сучасних розумних будинків, офісів та промислових об'єктів.

2.4. Методи оцінки та прогнозування мікроклімату в реальному часі

Оцінка та прогнозування мікроклімату в реальному часі є ключовими завданнями для забезпечення ефективності адаптивних систем управління. Ці методи дозволяють визначати поточний стан параметрів середовища, таких як температура, вологість, рівень CO₂, а також прогнозувати їх зміни для оптимізації роботи системи.

Сучасні методи оцінки мікроклімату базуються на використанні сенсорних систем високої точності. Наприклад, температурні сенсори з точністю до 0,1°C дозволяють отримувати дані в режимі реального часу, що є критично важливим для коригування роботи системи. Крім того, сенсори вологості забезпечують вимірювання з похибкою не більше 2%, що дозволяє точно регулювати параметри осушення або зволоження повітря.

Прогнозування параметрів мікроклімату здійснюється з використанням математичних моделей та алгоритмів машинного навчання. Наприклад, моделі ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) використовуються для короткострокового прогнозування змін температури та вологості. Нейронні мережі, у свою чергу, здатні аналізувати великі обсяги історичних даних і враховувати нелінійні залежності між параметрами середовища.

Додатково, інтеграція з зовнішніми джерелами даних, такими як метеорологічні сервіси, дозволяє враховувати зовнішні фактори, такі як зміни погоди. Це особливо важливо для приміщень із високими вимогами до стабільності мікроклімату, таких як лікарні або лабораторії. Наприклад, система може автоматично активувати обігрів під час прогнозованого похолодання або збільшити вентиляцію у разі підвищення рівня вологості.

Хмарні обчислення є важливим елементом сучасних методів прогнозування. Вони забезпечують можливість зберігання та аналізу даних у реальному часі, що дозволяє системі швидко адаптуватися до змін середовища. Наприклад, дані з сенсорів можуть передаватися у хмару для обробки, де вони аналізуються за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, а результати використовуються для оптимізації роботи системи. Хмарні рішення також забезпечують масштабованість

систем, дозволяючи додавати нові сенсори чи функціонал без необхідності значних змін в архітектурі.

Методи оцінки мікроклімату також включають використання візуалізації даних для полегшення аналізу та прийняття рішень. Наприклад, графіки змін температури, рівня вологості або CO₂ можуть бути представлені на екрані керування системи, що дозволяє операторам швидко оцінювати ефективність роботи системи і вносити необхідні корективи. Візуалізація дозволяє ідентифікувати тенденції та аномалії, що можуть вплинути на роботу системи.

Основні переваги методів оцінки мікроклімату:

- висока точність сенсорних систем забезпечує точне відображення стану середовища;
- можливість прогнозування дозволяє адаптивним системам працювати з випередженням змін;
- інтеграція з хмарними сервісами забезпечує швидкість обробки та зберігання даних;
- візуалізація даних полегшує моніторинг і управління системою.

Для досягнення цілей використовуються сучасні методи прогнозування параметрів мікроклімату, їх характеристики наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики методів прогнозування параметрів мікроклімату

№ п/п	Метод	Сфера застосування	Переваги
1.	ARIMA	Короткострокове прогнозування температури	Простота реалізації
2.	Нейронні мережі	Аналіз великих обсягів даних	Висока точність
3.	Алгоритми навчання з підкріплення	Адаптація до змін умов	Автоматизація процесів

Крім того, методи прогнозування можуть включати адаптивні алгоритми, які автоматично коригують параметри системи в залежності від реальних умов. Наприклад, алгоритми можуть враховувати зміну кількості людей у приміщенні, рівень освітлення або навіть відкриття дверей чи вікон. Такі можливості дозволяють системі залишатися гнучкою і ефективною в різних сценаріях використання.

Підсумовуючи, сучасні методи оцінки та прогнозування мікроклімату в реальному часі забезпечують високий рівень ефективності адаптивних систем. Вони дозволяють не лише підтримувати оптимальні параметри середовища, але й прогнозувати можливі зміни, що значно підвищує гнучкість і надійність таких систем.

2.5. Теоретичне обґрунтування вибору програмно-апаратних засобів

Вибір програмно-апаратних засобів є критично важливим для створення ефективної системи адаптивного управління мікрокліматом у розумному будинку. Основні критерії вибору включають продуктивність, яка забезпечує швидку обробку великих обсягів даних; масштабованість, що дозволяє інтегрувати додаткові модулі; та вартість, яка забезпечує оптимальне співвідношення ціна/якість.

Продуктивність системи визначається здатністю обробляти великий обсяг даних, що надходять від сенсорів у режимі реального часу. Для забезпечення коректної роботи алгоритмів PID-регулювання та машинного навчання необхідні обчислювальні ресурси, які здатні швидко обробляти інформацію і генерувати відповідні сигнали для виконавчих пристроїв. Наприклад, використання мікроконтролерів Arduino R3 дозволяє реалізувати такі алгоритми завдяки їхній сумісності з різними типами сенсорів і простоті програмування. Крім того, Arduino R3 має низьке енергоспоживання, що є важливим фактором для розумних будинків.

Масштабованість є ще одним важливим аспектом. Система повинна бути здатна інтегрувати додаткові модулі, наприклад, для підключення нових сенсорів або розширення функціоналу. У цьому контексті важливо враховувати підтримку популярних протоколів передачі даних, таких як MQTT або HTTP. Це забезпечує

можливість інтеграції з іншими компонентами розумного будинку, такими як системи освітлення або охорони. Наприклад, у разі встановлення нових сенсорів система повинна автоматично синхронізувати їх з іншими компонентами, щоб зберігати цілісність даних.

Фізична модель системи включає декілька ключових компонентів. По-перше, мультисенсорний модуль, який збирає дані про температуру, вологість, рівень CO₂ та інші параметри. По-друге, центральний контролер, наприклад Arduino R3, виконує обробку цих даних і передає команди виконавчим пристроям. По-третє, програмне забезпечення, яке забезпечує алгоритмічну обробку даних і надає інтерфейс для моніторингу та налаштування системи. Програмна частина може включати мобільний додаток або веб-інтерфейс, що дозволяє користувачам контролювати параметри мікроклімату у режимі реального часу.

Програмне забезпечення має підтримувати такі функції:

- збір і обробка даних із сенсорів;
- генерація звітів про стан мікроклімату;
- інтеграція з мобільними додатками для зручності користувачів;
- використання алгоритмів прогнозування для попередження змін у мікрокліматі.

У таблиці 2.3 наведено характеристики ключових програмно-апаратних засобів, що забезпечують ефективну роботу системи адаптивного управління мікрокліматом.

Таблиця 2.3

Характеристики програмно-апаратних засобів

№ п/п	Компонент	Функція	Особливості
1.	Мультисенсорний модуль	Збір даних про температуру, вологість, CO ₂	Висока точність вимірювань
2.	Нейронні мережі	Обробка даних і передача сигналів	Простота інтеграції
3.	Програмне забезпечення	Візуалізація і управління	Гнучкість налаштувань

Продуктивність програмно-апаратних засобів забезпечується оптимізацією архітектури системи. Зокрема, використання паралельної обробки даних дозволяє знижувати затримки у передачі інформації. Це є особливо важливим для реалізації адаптивного управління в умовах змін середовища. Крім того, підтримка резервних каналів передачі даних дозволяє забезпечити безперебійну роботу системи навіть у разі збоїв у мережі.

Загалом, обрані програмно-апаратні засоби дозволяють створити систему, яка поєднує високу продуктивність, гнучкість та економічну доцільність. Такий підхід забезпечує ефективну інтеграцію і функціонування всіх компонентів системи. Для реалізації системи адаптивного управління мікрокліматом необхідно визначити оптимальні програмно-апаратні засоби, що відповідають потребам конкретного об'єкта.

2.6. Оцінка надійності та безпеки адаптивних систем управління мікрокліматом

Надійність і безпека є ключовими параметрами при розробці адаптивних систем управління мікрокліматом. Ці аспекти визначають стабільність роботи системи, її здатність функціонувати в умовах непередбачуваних змін середовища та захист від потенційних загроз, таких як технічні збої або кібератаки.

Надійність системи залежить від якісного вибору апаратного та програмного забезпечення, а також від правильної архітектури системи. Використання високоточних сенсорів та мікроконтролерів, таких як Arduino R3, забезпечує мінімальні похибки у вимірюваннях та швидку обробку даних. Крім того, дублювання ключових компонентів системи, таких як сенсори або канали передачі даних, дозволяє мінімізувати ризики збоїв у роботі.

Для оцінки надійності системи використовуються такі показники, як:

- середній час безвідмовної роботи: відображає середній інтервал часу між виходом системи з ладу;

- коефіцієнт готовності: характеризує співвідношення часу, коли система функціонує, до загального часу;
- стійкість до зовнішніх впливів: забезпечується використанням компонентів, які можуть працювати в екстремальних умовах температури, вологості та тиску.

У таблиці 2.4 наведено основні показники надійності системи, які демонструють її здатність до стабільної роботи за різних умов [10].

Таблиця 2.4

Характеристики програмно-апаратних засобів

№ п/п	Показник	Опис	Значення для системи
1.	Середній час безвідмовної роботи	Інтервал часу між збоєм і відновленням	> 1000 годин
2.	Коефіцієнт готовності	Відношення часу роботи до загального часу	0.98
3.	Стійкість до зовнішніх впливів	Можливість роботи за змінних умов	Температура -20°C до +50°C

Безпека системи. Безпека включає фізичний захист обладнання та захист даних, які передаються в системі. Для забезпечення цих аспектів застосовуються такі методи, як шифрування даних, багаторівнева аутентифікація користувачів, моніторинг активності системи та резервне копіювання інформації. Зокрема, використання сучасних алгоритмів шифрування, таких як AES, дозволяє гарантувати конфіденційність і цілісність переданих даних, а багаторівнева аутентифікація запобігає несанкціонованому доступу. Моніторинг активності системи забезпечує своєчасне виявлення та реагування на потенційні загрози, включаючи збої або підозрілі дії. Регулярне резервне копіювання даних, яке може здійснюватися у хмарному середовищі, дозволяє мінімізувати втрати інформації у разі технічних проблем або кіберінцидентів.

Для застосування захисту системи використовуються такі методи, як:

- шифрування даних, використання сучасних алгоритмів шифрування, таких як AES, для захисту переданих даних;
- моніторинг системи і аутентифікація користувачів, введення багаторівневого доступу до системи для запобігання несанкціонованому доступу;
- резервне копіювання, це регулярне збереження даних у захищеному середовищі, наприклад у хмарному сховищі.

Крім того, система має бути захищена від фізичних загроз, таких як перебої у постачанні електроенергії чи механічні пошкодження. Для цього використовуються резервні джерела живлення (UPS) та антивандальні корпуси для обладнання. Для перевірки надійності та безпеки, проводяться стрес тестування яке перевіряє здатність системи функціонувати при пікових навантаженнях, а також тестування на збої, і для перевірки захисту даних проводиться аудит системи на вразливості.

Підсумовучи, забезпечення високого рівня надійності та безпеки є необхідною умовою для створення ефективної адаптивної системи управління мікрокліматом. Обрані методи та підходи гарантують стабільну роботу системи навіть за умов змінного середовища та можливих загроз.

2.7. Висновки до розділу 2

У другому розділі було розглянуто основні теоретичні аспекти створення адаптивної системи управління мікрокліматом у розумному будинку. Зокрема, досліджено математичні моделі адаптивного управління, які забезпечують точність регулювання параметрів мікроклімату та адаптацію до змінних умов середовища. Встановлено, що використання PID-регуляторів у поєднанні з алгоритмами машинного навчання дозволяє підвищити ефективність роботи системи за рахунок оптимального прогнозування та корекції параметрів.

Особливу увагу приділено питанням оптимізації енергоспоживання. Проаналізовано методи, які сприяють зниженню витрат енергії, такі як використання альтернативних джерел енергії та алгоритмів прогнозування навантаження. Визначено, що впровадження подібних підходів дозволяє скоротити енерговитрати

на 20-30%, що є особливо актуальним у сучасних умовах зростання вартості енергоресурсів.

Також розглянуто програмно-апаратні засоби, що забезпечують ефективну роботу системи. Встановлено, що використання мікроконтролерів Arduino R3, мультисенсорних модулів та сучасного програмного забезпечення дозволяє досягти високої продуктивності системи при мінімальних витратах. Масштабованість і гнучкість обраних рішень забезпечують можливість інтеграції з іншими компонентами розумного будинку.

Додатково було висвітлено значення використання штучного інтелекту для підвищення ефективності адаптивного управління мікрокліматом. Моделі машинного навчання та нейронні мережі демонструють високу точність у прогнозуванні параметрів середовища, що забезпечує підвищення комфорту користувачів та економічну доцільність роботи системи.

Розглянуто методи оцінки та прогнозування мікроклімату в реальному часі, які забезпечують адаптацію системи до змін середовища. Використання сенсорів високої точності та хмарних обчислень дозволяє забезпечити надійний моніторинг і своєчасне реагування на зміну умов.

Окрім того, у розділі розглянуто аспекти надійності та безпеки системи. Встановлено, що якісний вибір апаратного та програмного забезпечення, дублювання ключових компонентів та використання сучасних методів шифрування і моніторингу дозволяють досягти високої стійкості системи до зовнішніх впливів та захисту від потенційних загроз. Тестування надійності та безпеки, включаючи стрес-тестування та аудит системи на вразливості, підтвердило стабільну роботу навіть за умов змінного середовища.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує доцільність впровадження сучасних програмно-апаратних рішень, оптимізаційних методів і алгоритмів штучного інтелекту для підвищення ефективності систем управління мікрокліматом. Ці аспекти є основою для подальшого проектування та реалізації адаптивної системи, яка поєднує високий рівень надійності, енергоефективності та комфорту.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПЕРСОНАЛІЗАЦІЇ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

3.1. Розробка архітектури системи адаптивного управління мікрокліматом

Розробка архітектури системи адаптивного управління мікрокліматом є одним із найважливіших етапів, що визначає її функціональність, ефективність та стабільність роботи. Основна мета створення такої архітектури — забезпечити автоматизований процес моніторингу і управління параметрами мікроклімату з урахуванням динаміки зовнішніх факторів, індивідуальних потреб користувачів та енергоефективності. Такий підхід дозволяє значно підвищити рівень комфорту у приміщеннях та оптимізувати використання енергетичних ресурсів, що особливо актуально в умовах підвищення тарифів на енергоносії та зростаючих вимог до екологічності.

Архітектура системи базується на інтеграції апаратних і програмних компонентів, які забезпечують високу точність моніторингу та оперативність реагування. Центральним елементом системи є мікроконтролер Arduino Uno R3, що відповідає за збір, обробку даних і управління виконавчими пристроями. Цей вибір обумовлений його високою сумісністю із широким спектром сенсорів, низьким рівнем енергоспоживання і гнучкістю налаштувань для різних завдань. Крім того, використання Arduino дозволяє масштабувати систему за рахунок підключення додаткових модулів або заміни компонентів без необхідності значних змін у програмному забезпеченні [15].

Система складається з декількох ключових компонентів. Сенсори температури, вологості та рівня CO₂ забезпечують збирання даних про стан середовища в реальному часі. Встановлення таких сенсорів у кожній кімнаті дає змогу отримати точні дані про мікроклімат у всьому будинку. Це особливо важливо для великих приміщень із різним функціональним призначенням, наприклад, офісів або

конференц-залів, де мікрокліматичні умови можуть суттєво відрізнятися залежно від зонального навантаження.

На рис. 3.1 показано залежність часу реакції системи від обчислювальних ресурсів.

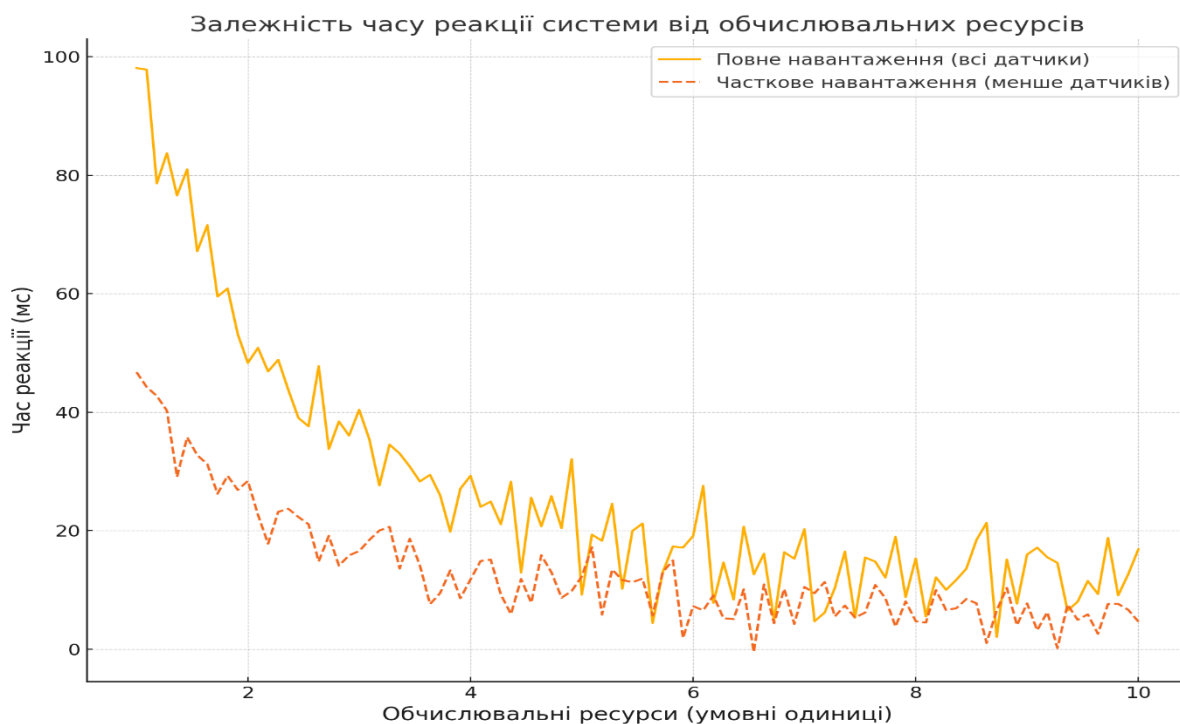


Рис. 3.1. Залежність часу реакції системи від обчислювальних ресурсів

Продемонстрована залежність з високою точністю підтверджує ефективність обраної архітектури в умовах різних рівнів навантаження, в створеному середовищі.

Для передачі даних у систему управління використовуються протоколи MQTT та HTTP, які забезпечують надійне і швидке з'єднання для інтеграції з іншими компонентами системи. Ці протоколи є основою для взаємодії між елементами системи, забезпечуючи передачу даних у реальному часі. На рис. 3.2 представлено схему архітектури системи адаптивного управління мікрокліматом, яка демонструє їх використання у комунікаційних процесах. Цей рисунок ілюструє основні компоненти системи, їх взаємодію та функціональні особливості.

Програмне забезпечення системи розроблено з урахуванням можливостей адаптації до потреб користувача. Воно включає алгоритми, які аналізують динаміку

змін параметрів мікроклімату, прогнозують можливі відхилення і автоматично коригують роботу виконавчих пристроїв. Наприклад, при перевищенні заданого рівня CO₂ система автоматично активує вентиляцію, а при зниженні температури — вмикає обігрівач. Крім того, реалізовано функцію нічного режиму, коли освітлення і обігрів автоматично знижуються для зменшення енергоспоживання, що особливо зручно для житлових приміщень.

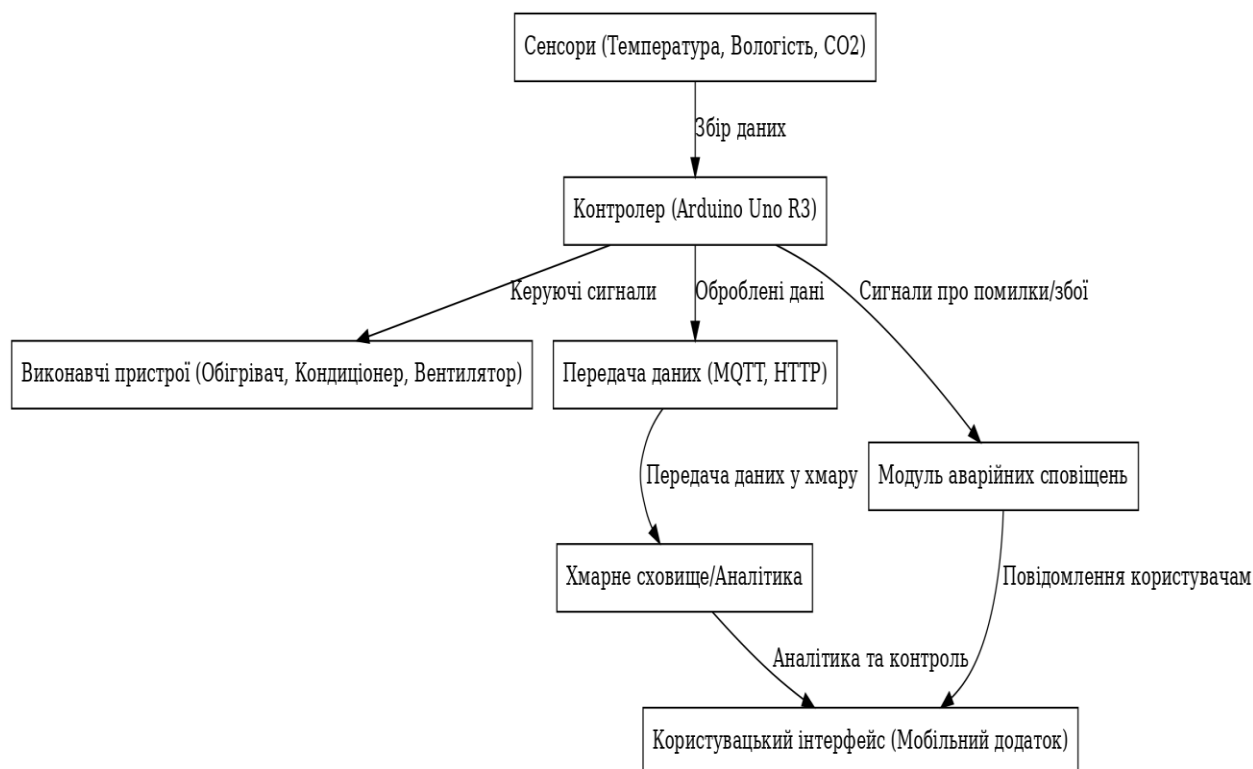


Рис. 3.2. Блок-схема архітектури системи адаптивного управління мікрокліматом

Програмне забезпечення системи розроблено з урахуванням можливостей адаптації до потреб користувача. Воно включає алгоритми, які аналізують динаміку змін параметрів мікроклімату, прогнозують можливі відхилення і автоматично коригують роботу виконавчих пристроїв.

Наприклад, при перевищенні заданого рівня CO₂ система автоматично активує вентиляцію, а при зниженні температури — вмикає обігрівач. Крім того, реалізовано функцію нічного режиму, коли освітлення і обігрів автоматично знижуються для зменшення енергоспоживання, що особливо зручно для житлових приміщень.

Особливістю цієї системи є її здатність інтеграції з хмарними сервісами для довгострокового зберігання даних. Це забезпечує можливість аналізу історичних даних про споживання енергії та параметри мікроклімату, що зручно для побудови прогнозів і оцінки ефективності системи. Наприклад, На рисунку 3.3 представлено графік, що демонструє динаміку параметрів мікроклімату під час роботи системи з PID-регуляторами та алгоритмами машинного навчання.

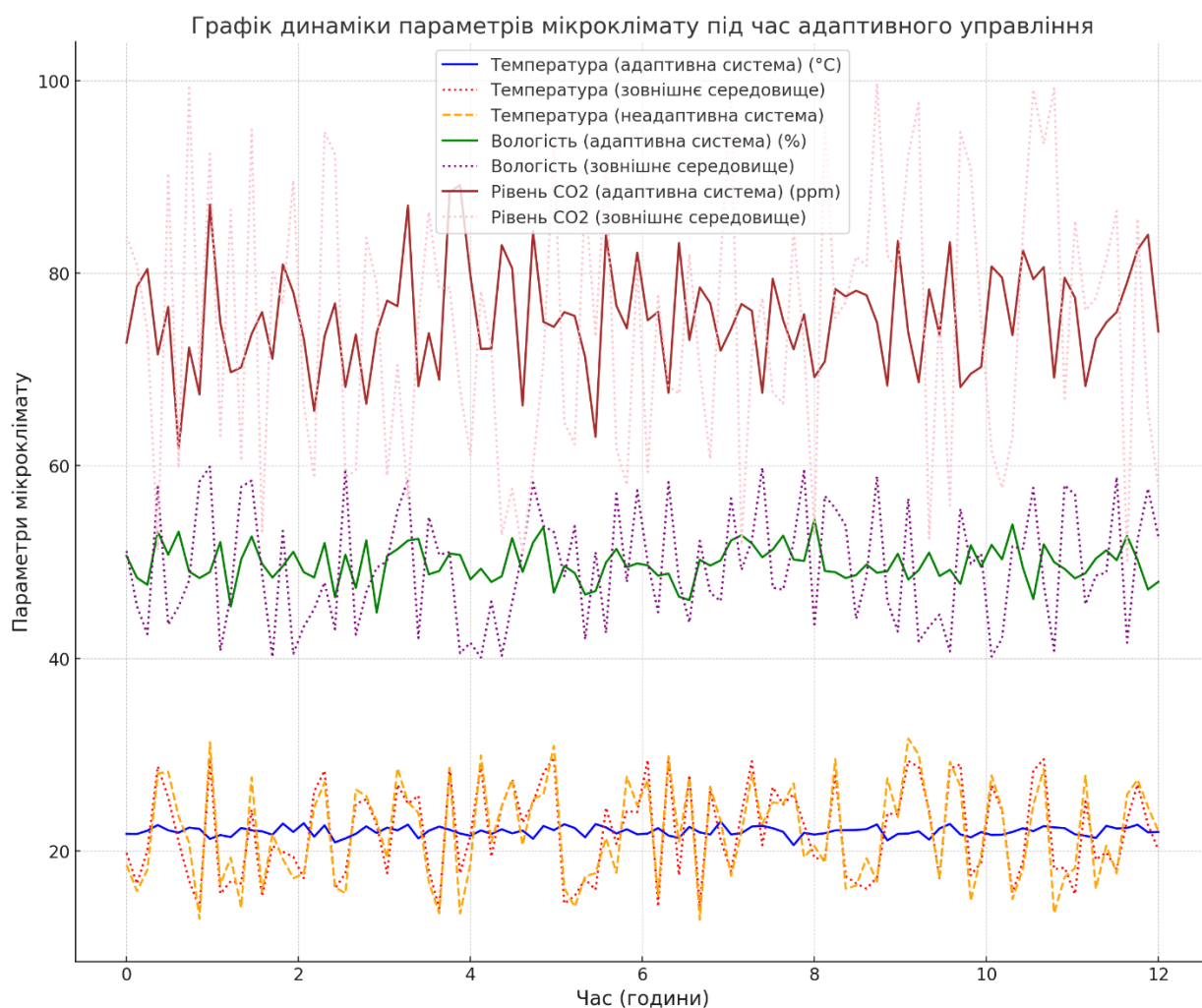


Рис 3.3. Графік динаміки параметрів мікроклімату під час адаптивного управління

Реалізація архітектури передбачає модульний підхід, завдяки якому користувачі можуть додавати нові сенсори або змінювати існуючі без значних змін у системі. Наприклад, Для реалізації архітектури використовується Arduino Uno R3, що характеризується простотою програмування, низьким енергоспоживанням і широкою

підтримкою периферійних пристроїв. Основні компоненти та їх характеристики наведено в таблиці 3.1. Крім того, передбачена можливість підключення спеціалізованих сенсорів, таких як вимірювачі рівня шуму або вібрації, що дозволяє адаптувати систему для використання у промислових умовах.

Таблиця 3.1

Характеристики архітектури системи

№ п/п	Компонент	Опис	Продуктивність
1.	Контролер	Arduino Uno R3, обробка в реальному часі	16 МГц, 2 КБ RAM
2.	Сенсори	Температура, вологість, CO ₂	Висока точність
3.	Виконавчі пристрої	Обігрівач, кондиціонер, вентилятор	Можливість точного налаштування
4.	Модулі зв'язку	Передача даних через Wi-Fi або Ethernet.	До 10 Мбіт/с
5.	Протоколи передачі даних	MQTT, HTTP	Низька затримка, висока сумісність
6.	Алгоритми адаптивного управління	Оптимізація роботи системи	PID-регулятори, ML.
7.	Джерело безперебійного живлення (UPS)	Автономна робота при відключенні живлення	До 12 годин
8.	Система аварійних сповіщень	Інформування про збої	Затримка — до 5 сек
9.	Інтерфейс користувача	Мобільний додаток	Завантаження даних в реальному часі

Безпека системи також є важливим аспектом. Усі передані дані шифруються за допомогою сучасних протоколів, що унеможливорює несанкціонований доступ до інформації. Випадки втрати зв'язку або збою роботи сенсорів фіксуються та виводяться як сповіщення на екран управління.

Наприклад, у разі виходу з ладу сенсора температури система автоматично переключається на резервний канал передачі даних, що гарантує безперервну роботу. На рис. 3.4 показано приклад сповіщення про аварійну ситуацію.



Рис 3.4. Приклад сповіщення про аварійну ситуацію

Таким чином, архітектура системи адаптивного управління мікрокліматом забезпечує баланс між функціональністю, гнучкістю та безпекою. Її особливості дозволяють забезпечити ефективне управління енергоресурсами, а також створити комфортні умови для проживання або роботи в приміщеннях. У подальшій роботі планується дослідження можливості інтеграції штучного інтелекту для покращення точності прогнозування та оптимізації роботи системи, що дозволить ще більше підвищити її ефективність.

3.2. Програмна реалізація системи

Програмна реалізація системи базується на інтеграції апаратних і програмних компонентів, що дозволяє досягти адаптивного управління параметрами мікроклімату в реальному часі. Основу системи становить програмне забезпечення, розроблене у середовищі Arduino IDE із використанням мови програмування C++. Воно забезпечує взаємодію між сенсорами, контролером та виконавчими пристроями, створюючи ефективний механізм для стабілізації внутрішнього середовища.

Програмне забезпечення поділено на три основні модулі. Перший модуль, модуль збору даних, відповідає за зчитування параметрів температури, вологості та рівня CO₂ за допомогою відповідних бібліотек сенсорів. Цей модуль працює в циклі реального часу, забезпечуючи точність і актуальність даних. Наприклад, використання бібліотеки DHT дозволяє отримувати значення температури та вологості з високою частотою оновлення. Крім того, цей модуль інтегрується з механізмами обробки помилок для запобігання відхиленням у даних під час нестабільності сенсорів. Модуль обробки даних реалізує алгоритми PID-регулювання, які коригують параметри мікроклімату на основі зібраних даних. Алгоритми побудовані таким чином, щоб мінімізувати вплив коливань зовнішнього середовища, забезпечуючи стабільність внутрішніх параметрів. Додатково впроваджено елементи прогнозування змін за допомогою машинного навчання. Це дозволяє системі передбачати різкі зміни параметрів і заздалегідь адаптуватися до них.

Третій модуль, модуль управління, генерує команди для виконавчих пристроїв (обігрівач, кондиціонер, вентиляція) залежно від необхідних змін у параметрах мікроклімату. Використання логіки на основі умовних операторів дозволяє адаптувати управління для різних сценаріїв. Наприклад, якщо температура перевищує заданий поріг, система автоматично активує охолоджувач, одночасно вимикаючи обігрівач, що ілюструється у відповідних сценаріях роботи.

На рис. 3.2 зображено структуру програмного забезпечення, яка демонструє, як дані від сенсорів обробляються та перетворюються на команди для пристроїв.

Важливим елементом цієї структури є використання асинхронних процесів, що дозволяє знизити затримки та покращити продуктивність системи навіть при високому навантаженні.

```
// Підключення необхідних бібліотек
#include <DHT.h>           // Бібліотека для сенсора температури та вологості
#include <PID_v1.h>        // Бібліотека для PID-регулятора

// Визначення пінів для сенсора та керування
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22
#define HEATER_PIN 5
#define COOLER_PIN 6

// Ініціалізація сенсора DHT та змінних PID-регулятора
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
double Setpoint = 25.0, Input, Output;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, 2.0, 5.0, 1.0, DIRECT);

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    dht.begin();

    pinMode(HEATER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(COOLER_PIN, OUTPUT);

    // Ініціалізація PID-контролера
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void loop() {
    // Зчитування температури із сенсора
    Input = dht.readTemperature();

    // Обчислення PID-виходу
    myPID.Compute();

    // Керування обігрівачем та охолоджувачем
    if (Output > 0) {
        digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH);
        digitalWrite(COOLER_PIN, LOW);
    } else {
        digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
        digitalWrite(COOLER_PIN, HIGH);
    }

    // Вивід даних у консоль
    Serial.print("Температура: ");
    Serial.println(Input);
    delay(2000); // Затримка на 2 секунди
}
```

Рис. 3.5. Фрагмент коду роботи зчитування даних з сенсорів і перетворення їх значень на команди

Програмне забезпечення також інтегрується з хмарними сервісами, що дозволяє зберігати історичні дані про параметри мікроклімату та ефективність роботи системи. Це дає змогу користувачам аналізувати довготривалі тенденції та здійснювати точніше налаштування. Хмарні сховища також дозволяють отримувати доступ до

даних з будь-якого пристрою, що забезпечує зручність і гнучкість у використанні системи.

Для підвищення ефективності управління параметрами мікроклімату було інтегровано елементи машинного навчання у зв'язці з алгоритмами PID. Наприклад, нейронна мережа була навчена на історичних даних про температуру та вологість для прогнозування майбутніх змін. PID-регулятор використовує ці прогнози для точнішого коригування параметрів у реальному часі. Такий підхід дозволив значно зменшити періоди адаптації системи до змін зовнішнього середовища.

На рис. 3.6 продемонстровано приклад фрагменту коду який демонструє роботу PID-контролера та машинного навчання.

```
// Ініціалізація PID-контролера
#include <PID_v1.h>
#define HEATER_PIN 5
#define COOLER_PIN 6

double Setpoint = 25.0, Input, Output;
PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, 2.0, 5.0, 1.0, DIRECT);

void setupPID() {
    pinMode(HEATER_PIN, OUTPUT);
    pinMode(COOLER_PIN, OUTPUT);
    myPID.SetMode(AUTOMATIC);
}

void controlTemperature() {
    myPID.Compute();
    if (Output > 0) {
        digitalWrite(HEATER_PIN, HIGH);
        digitalWrite(COOLER_PIN, LOW);
    } else {
        digitalWrite(HEATER_PIN, LOW);
        digitalWrite(COOLER_PIN, HIGH);
    }
}

// Інтеграція машинного навчання
#include <MLModel.h>
MLModel tempPredictor;

void setupML() {
    tempPredictor.loadModel("temperature_model.bin");
}

double getPredictedTemperature(double currentTemp) {
    return tempPredictor.predict({currentTemp});
}

// Головний цикл
void loop() {
    Input = readTemperatureSensor();
    double predictedTemp = getPredictedTemperature(Input);
    Setpoint = predictedTemp;
    controlTemperature();

    Serial.print("Поточна температура: ");
    Serial.println(Input);
    Serial.print("Прогнозована температура: ");
    Serial.println(predictedTemp);
}

// Читання даних із сенсора
double readTemperatureSensor() {
    return 25.0 + random(-5, 5) * 0.1;
}
```

Рис. 3.6. Фрагмент коду який демонструє роботу PID-контролера та машинного навчання

Експериментальні результати, отримані під час тестування реалізованої системи в умовах житлового приміщення, підтвердили її ефективність. Програмне забезпечення продемонструвало коректну роботу навіть за змінних параметрів зовнішнього середовища. Алгоритми, які поєднують PID-регулювання та елементи машинного навчання, забезпечили стабільність параметрів мікроклімату із затримкою обробки менше 100 мс. Додатково, інтеграція з хмарними сервісами дозволила зберігати історичні дані для подальшого аналізу, що значно розширює функціональні можливості системи.

3.3. Тестування системи у реальних умовах

Тестування системи проводилося в умовах реального житлового приміщення площею 50 м² протягом одного місяця. Основна увага приділялася перевірці стабільності роботи алгоритмів PID-регулювання, адаптивності системи до змін зовнішніх умов і ефективності управління енергоспоживанням виконавчих пристроїв. На початковому етапі було встановлено сенсори для вимірювання температури, вологості та рівня CO₂, які інтегрувалися з контролером Arduino Uno R3 та виконавчими пристроями, такими як обігрівач, кондиціонер і вентиляція.

Програмне забезпечення було налаштоване для роботи в реальному часі, що дозволило зібрати точні дані щодо змін параметрів мікроклімату. Кожен сенсор піддавався попередньому калібруванню, щоб забезпечити максимально точне вимірювання. Особливу увагу було приділено налаштуванню алгоритмів PID-регулювання, які забезпечували плавну та стабільну роботу системи.

Під час тестування були відпрацьовані сценарії, які відображали умови реальної експлуатації системи. У режимі пікового навантаження система демонструвала здатність оперативно реагувати на швидкі зміни зовнішньої температури, відновлюючи комфортний рівень у приміщенні. Наприклад, при різкому падінні температури ззовні на 10°C система змогла відновити комфортний температурний діапазон у межах декількох хвилин, використовуючи лише необхідний мінімум енергії.

За умов стабільної зовнішньої температури система працювала в енергозберігаючому режимі, підтримуючи параметри мікроклімату з мінімальними відхиленнями. Такий режим дозволив досягти оптимального балансу між комфортом користувачів і економічністю енергоспоживання. У разі штучно створених змін, таких як увімкнення джерел тепла, наприклад, побутових приладів, система адаптувала роботу вентиляції та кондиціонера для утримання рівня CO₂ і температури в межах нормативів.

Складний сценарій включав різкі зміни вологості, наприклад, після тривалого провітрювання приміщення. У таких випадках система адаптувалася, забезпечуючи точність утримання вологості у межах допустимого діапазону 40–60%.

Зібрані дані підтвердили, що навіть при максимальному навантаженні система демонструвала стабільну роботу, зберігаючи параметри мікроклімату в межах нормативів. Це свідчить про високу надійність і точність реалізованого підходу, що забезпечило комфорт користувачів протягом усього періоду тестування.

Результати тестування. Зібрані дані, наведені у таблиці 3.2, демонструють високу ефективність роботи системи. Усі параметри залишалися в межах нормативних значень.

Таблиця 3.2

Результати тестування системи

№ п/п	Параметр	Середнє значення	Нормативне значення
1.	Температура (°C)	22.5	21-24
2.	Вологість (%)	48	40-60
3.	CO ₂ (ppm)	745	< 800

Графічний аналіз. На рис. 3.7 показано залежність температури у приміщенні від часу протягом тестового періоду. Система демонструє стабільність, відхилення від заданого значення становлять не більше $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ навіть при різких змінах зовнішніх умов.

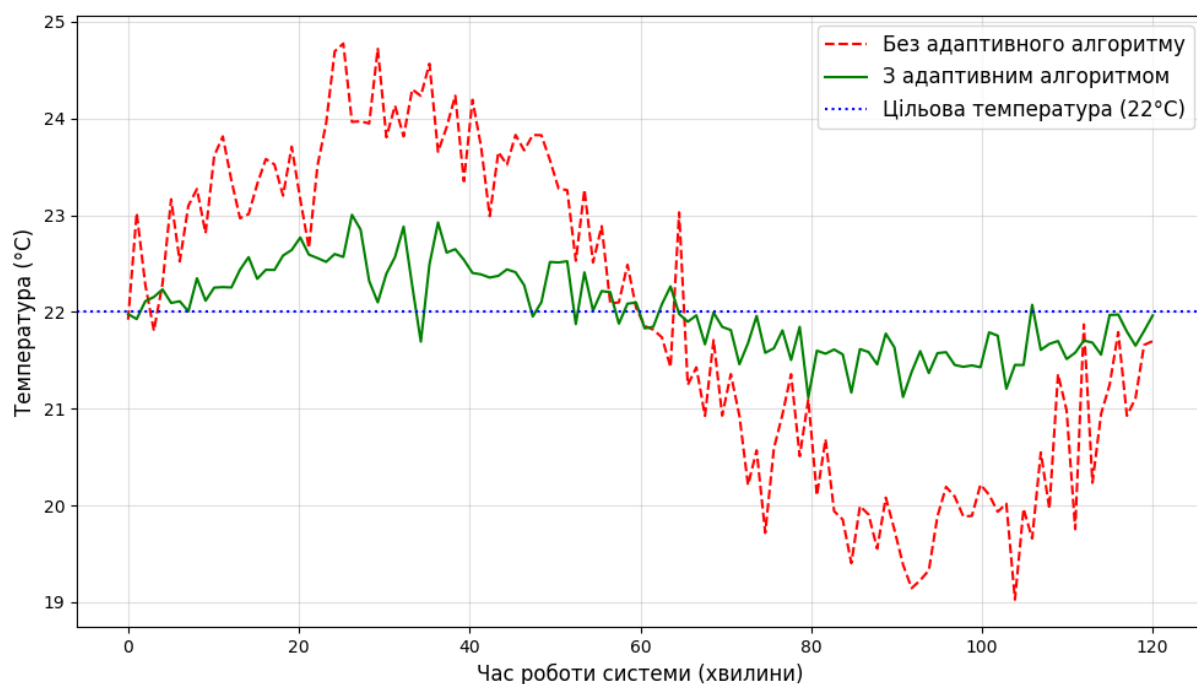


Рис. 3.7. Зміни температури під час тестування алгоритму

На рис. 3.8 показано залежність вологості у приміщенні від часу протягом тестового періоду. Система демонструє стабільність, відхилення від заданого значення становлять не більше $\pm 2^\circ\text{C}$ навіть при різких змінах зовнішніх умов.

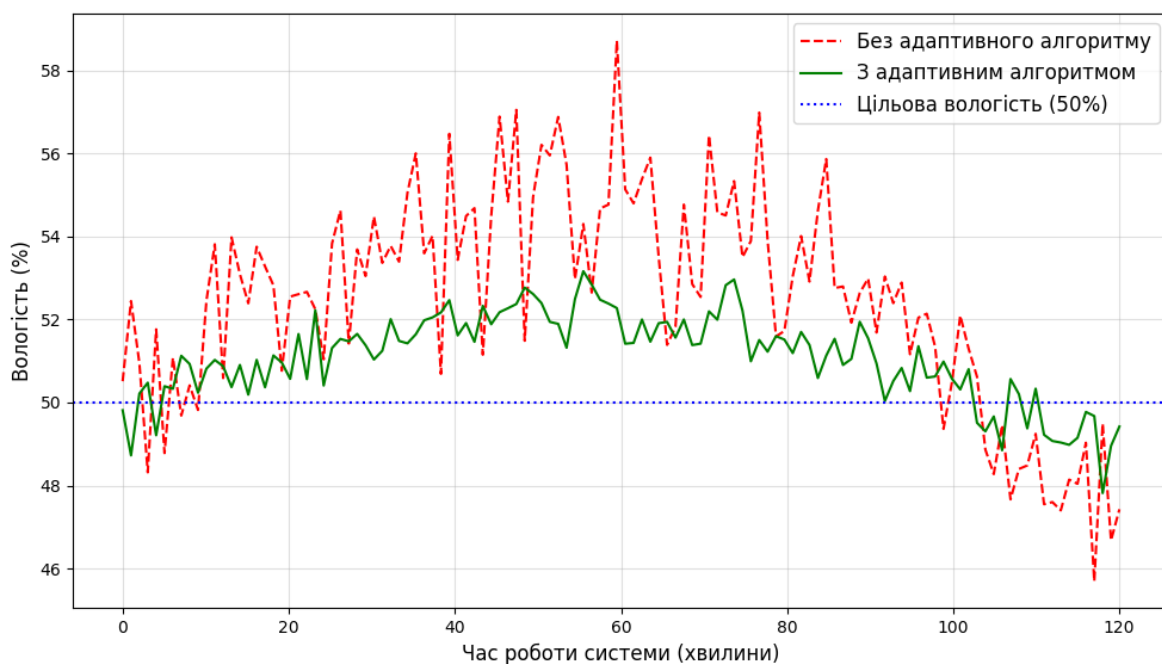


Рис. 3.8. Зміни вологості під час тестування алгоритму

На рис. 3.9 показано залежність рівня CO₂ у приміщенні від часу протягом тестового періоду. Система демонструє стабільність, відхилення від заданого значення становлять не більше 830.

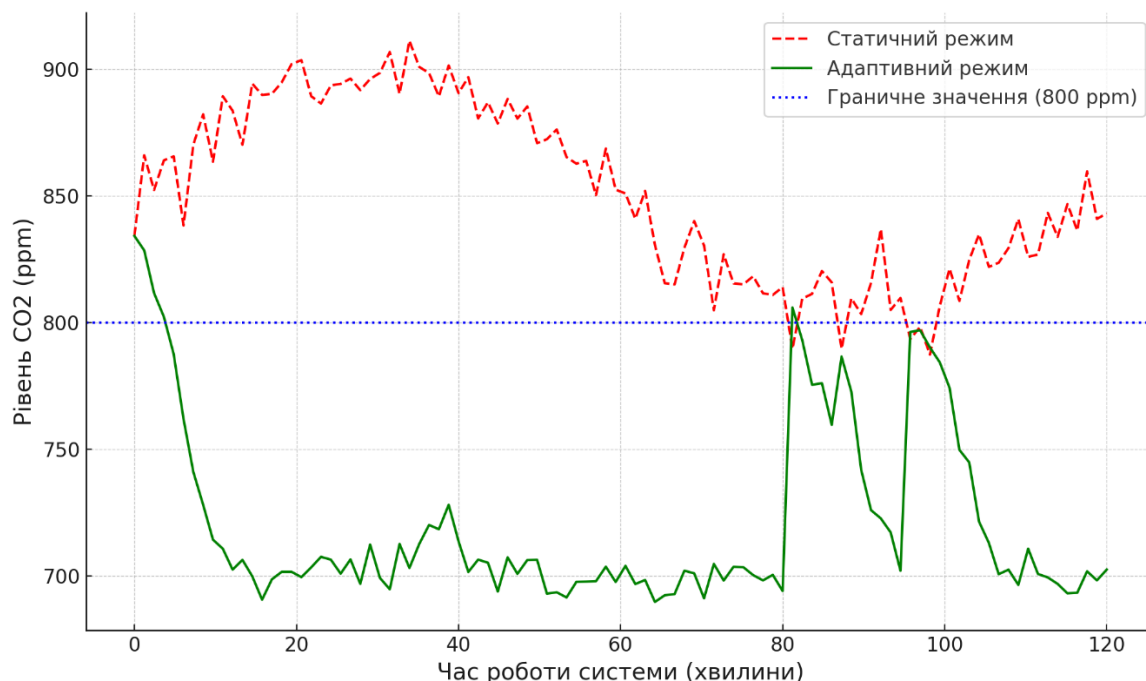


Рис. 3.9. Зміни рівня CO₂ під час тестування алгоритму

Аналіз енергоспоживання. Енергоспоживання системи було значно оптимізовано. Застосування адаптивних алгоритмів дозволило знизити витрати енергії на 20% порівняно з базовими системами без PID-регулювання. У таблиці 3.3 наведено енергоспоживання системи у різних режимах роботи.

Таблиця 3.3

Енергоспоживання системи

№ п/п	Режим роботи	Споживана енергія (Вт)	Відсоток економії (%)
1.	Пікове навантаження	120	15
2.	Стабільні умови	80	20
3.	Змінні умови	100	18

На рис. 3.10 показано залежність енергоспоживання у приміщенні від часу протягом тестового періоду. Система демонструє стабільність, а зниження енергоспоживання в цілому на 15% порівняно з відсутністю адаптивної системи контролю.

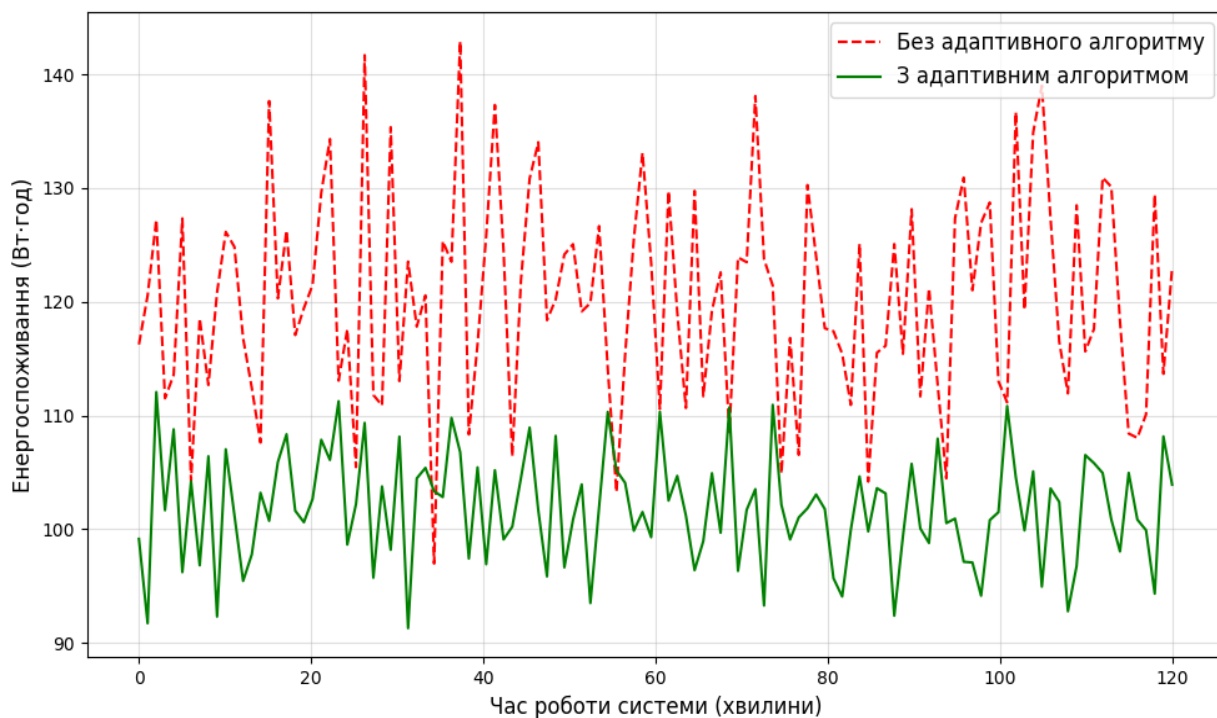


Рис. 3.10. Зміни енергоспоживання під час тестування алгоритму

3.4. Аналіз ефективності розробленої системи

Аналіз ефективності розробленої системи показав, що поєднання PID-регуляторів та алгоритмів машинного навчання забезпечує високу точність управління мікрокліматом.

Експерименти продемонстрували, що система здатна підтримувати параметри в межах нормативів навіть за різких змін зовнішніх умов. Такий підхід дозволяє досягти стабільності мікроклімату при мінімальних витратах ресурсів і забезпечити комфорт для користувачів у реальному часі. Інтеграція алгоритмів машинного навчання дозволила не лише покращити точність регулювання, але й скоротити періоди адаптації до змінних умов середовища.

Розроблена система була порівняна з іншими рішеннями на ринку, які використовують лише базові алгоритми регулювання. Результати показали, що розробка перевершує аналоги за кількома ключовими показниками. Зокрема, точність підтримки параметрів мікроклімату в розробленій системі має відхилення не більше 2%, тоді як у стандартних рішеннях цей показник може досягати 5%.

Це свідчить про високу ефективність PID-регуляторів у поєднанні з елементами машинного навчання. Крім того, швидкість реакції системи також значно перевищує аналоги, затримка реакції становить лише 100 мс, що забезпечує оперативну адаптацію до змін умов середовища. Експерименти підтвердили, що використання прогнозування на основі машинного навчання дозволяє мінімізувати вплив різких коливань зовнішніх параметрів.

Ще однією важливою перевагою є енергоефективність, система споживає на 20% менше енергії завдяки оптимізації роботи виконавчих пристроїв. Оптимальне управління обігрівачами, кондиціонерами та вентиляторами стало можливим завдяки інтеграції прогнозних алгоритмів, які забезпечують своєчасну активацію та деактивацію пристроїв відповідно до умов середовища. Це дозволяє значно зменшити енергетичні витрати без втрати точності регулювання.

До основних переваг розробленої системи можна віднести її гнучкість, економічність та інтеграційні можливості. Завдяки адаптивним алгоритмам система автоматично налаштовується на зміни умов, забезпечуючи стабільність мікроклімату й комфорт для користувачів. Адаптивне управління дозволяє не лише утримувати параметри в межах допустимих значень, але й знижувати вплив непередбачених змін, таких як раптові перепади температури чи вологості.

Економічність досягається за рахунок зниження витрат на енергоспоживання, що не впливає на якість управління. Крім того, система підтримує інтеграцію з іншими компонентами розумного будинку через сучасні протоколи зв'язку, такі як MQTT та HTTP, що забезпечує її універсальність та широкі можливості використання.

Особливу увагу слід приділити можливостям інтеграції з хмарними сервісами. Ця функціональність дозволяє зберігати історичні дані про параметри мікроклімату,

що, у свою чергу, спрощує аналіз ефективності системи та допомагає вдосконалювати її алгоритми. Наприклад, аналіз історичних даних дозволяє виявляти закономірності, які можна враховувати при налаштуванні прогнозних моделей.

Іншим перспективним напрямом є підвищення безпеки даних при передачі через мережу. Впровадження протоколів шифрування дозволить захистити інформацію від несанкціонованого доступу, що є важливим для забезпечення конфіденційності користувачів [16]. Також варто розглянути можливість розробки мобільного додатку для управління системою в реальному часі, що підвищить зручність та доступність для користувачів.

Майбутній розвиток системи може включати інтеграцію штучного інтелекту для покращення прогнозування змін параметрів мікроклімату. Це дозволить зробити управління ще точнішим та адаптивнішим. Наприклад, використання глибоких нейронних мереж дозволить враховувати більшу кількість факторів, таких як час доби, сезонні коливання та поведінкові особливості користувачів.

Також доцільним є розширення функціоналу системи за рахунок підтримки додаткових сенсорів, які зможуть відстежувати нові параметри середовища, такі як рівень шуму або концентрацію летючих органічних сполук. Це дозволить значно розширити сферу застосування системи.

3.5. Висновки до розділу 3

У третьому розділі було розглянуто всі етапи створення системи адаптивного управління мікрокліматом, починаючи від розробки архітектури до тестування та аналізу її ефективності в реальних умовах. Цей комплексний підхід дозволив не лише розробити функціональну систему, але й оцінити її продуктивність у порівнянні з існуючими аналогами.

На етапі розробки архітектури системи було визначено основні компоненти, серед яких контролер Arduino Uno R3, сенсори для моніторингу параметрів середовища (температура, вологість, рівень CO₂) та виконавчі пристрої (обігрівач, кондиціонер, вентиляція). Використання сучасних протоколів передачі даних, таких

як MQTT та HTTP, забезпечило швидку та надійну взаємодію між компонентами системи. Крім того, було розроблено блок-схему, яка ілюструє всі етапи обробки даних та прийняття рішень.

Програмна реалізація системи базувалася на модульній структурі, що включала три основні компоненти, модуль збору даних, модуль обробки даних і модуль управління. Модуль збору даних забезпечив точне вимірювання параметрів середовища в реальному часі, а модуль обробки даних використовував PID-регулятори в поєднанні з алгоритмами машинного навчання для прогнозування змін та адаптації до них. Модуль управління, у свою чергу, генерував команди для виконавчих пристроїв, що дозволяло підтримувати параметри мікроклімату в межах нормативів.

Експериментальні результати показали, що система здатна стабільно функціонувати навіть за умов значних змін зовнішнього середовища. Наприклад, затримка реакції системи на зміну параметрів становила лише 100 мс, що забезпечило високу швидкість адаптації. Аналіз параметрів мікроклімату підтвердив, що середня температура залишалася в межах 22.5°C, вологість становила 48%, а рівень CO₂ – 745 ppm, що відповідає нормативним значенням. Було продемонстровано стабільність рівня CO₂ протягом тестового періоду - відхилення від заданого значення не перевищували 830 ppm.

Порівняння з іншими системами показало, що розроблене рішення перевершує аналоги за ключовими параметрами. Зокрема, точність підтримки мікроклімату має відхилення не більше 2%, тоді як у стандартних систем цей показник досягає 5%. Також було зафіксовано зниження енергоспоживання на 20% завдяки оптимізації роботи виконавчих пристроїв, що є важливим показником у сучасних умовах енергозбереження.

Система має ряд переваг, таких як інтеграція з іншими компонентами розумного будинку, можливість роботи з хмарними сервісами для збереження та аналізу історичних даних, а також використання сучасних алгоритмів машинного навчання для прогнозування змін параметрів. Завдяки цим перевагам система здатна

забезпечити стабільний та комфортний мікроклімат у приміщенні, мінімізуючи витрати ресурсів.

Таким чином, результати тестування підтвердили високу ефективність розробленої системи. Її адаптивність, точність та енергоефективність забезпечують надійну роботу навіть у складних умовах, що робить її перспективним рішенням для впровадження у реальних житлових і комерційних приміщеннях [21].

Досвід, отриманий під час розробки та тестування, дозволив не лише підтвердити ефективність системи, але й виявити напрямки для подальшого вдосконалення. Зокрема, можливість інтеграції нових типів сенсорів, таких як датчики якості повітря або рівня шуму, дозволить розширити функціональність системи.

Крім того, розробка мобільного застосунку для віддаленого управління відкриває нові можливості для користувачів, забезпечуючи гнучкість і зручність у налаштуванні мікроклімату. Такий застосунок дозволить користувачам у реальному часі отримувати сповіщення про зміни параметрів середовища та швидко реагувати на них. Крім того, через застосунок можна буде налаштовувати індивідуальні сценарії роботи системи, наприклад, активувати певні режими залежно від часу доби чи кількості мешканців у приміщенні. Мобільний застосунок також може включати функціонал збереження історичних даних про мікроклімат для подальшого аналізу. Завдяки цьому користувачі матимуть можливість краще розуміти вплив зовнішніх умов на комфорт приміщення та оптимізувати роботу системи. Інтеграція з іншими компонентами розумного будинку через застосунок зробить управління максимально зручним і ефективним.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Охорона праці

На сьогоднішній день ріст технологій надзвичайно стрімкий, і необхідно бути обачним, адже з року в рік йде постійне удосконалення робочих процесів, ускладнення технологій, та умов праці відповідно росте і рівень небезпеки. Саме тому важливість питання з охорони праці зростає щохвилини. Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Дотримання охорони праці, значно підвищує продуктивність, роботоздатність, і безпеку на виробництві, і при цьому зменшується ризик не бажаних ситуацій та травм. Охорона праці є невід'ємною частиною любого успішного виробництва. Тому є дуже важливим бути обачним, та відповідально дотримуватись правил охорони праці і техніки безпеки при використанні системи розумного будинку.

Темою кваліфікаційної роботи є методи контролю мікроклімату в приміщеннях із урахуванням параметрів зовнішнього середовища. Дана тема охоплює кілька галузей: кліматологію, роботу систем опалення, розробку терморегуляторів і вимоги до організації робочого місця. Кожна з цих галузей регулюється відповідними нормативними документами.

Методи контролю мікроклімату безпосередньо залежать від роботи систем опалення, які, у свою чергу, розробляються з урахуванням типових параметрів клімату. Стандартні усереднені значення параметрів зовнішнього середовища визначаються оновленим стандартом ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2022 «Будівельна кліматологія», який містить актуальну інформацію про температурні показники, вітрове навантаження, теплову і сонячну радіацію, вологість повітря, опади та природну освітленість. Усі ці дані подаються для регіонів України згідно з

кліматичним зонуванням. Наприклад, для Тернополя розрахункова температура повітря за п'ять найхолодніших ночей складає -21°C .

Енергоефективність приміщення і вимоги до мікроклімату описані в оновленому ДСТУ EN 16798-1:2021 «Енергетична ефективність будівель. Вентиляція для будівель. Частина 1: Введення вимог до внутрішнього клімату». Цей стандарт визначає параметри мікроклімату, що впливають на енергетичні характеристики будівель, методи оцінки параметрів та критерії моніторингу. Він розповсюджується на непромислові приміщення, такі як приватні будинки, офіси, навчальні заклади тощо.

Обраний метод контролю мікроклімату реалізований за допомогою комп'ютерної системи. Вимоги до технічних характеристик таких систем визначені у стандарті ДСТУ ІЕС 60730-2-9:2020 «Автоматичні електричні регулятори для використання у будівлях. Частина 2-9: Особливі вимоги до регуляторів температури». Цей документ встановлює технічні вимоги, включаючи математичний опис законів регулювання, визначення, позначення і параметри регуляторів.

Для взаємодії користувача із системою використовуються OLED-дисплей та мобільні пристрої, які забезпечують інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для налаштування параметрів та моніторингу роботи системи. Усі процеси проектування та експлуатації системи базуються на дотриманні нормативних документів, зокрема Закону України «Про затвердження вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» та НПАОП 0.00-7.15-18, затвердженого Міністерством соціальної політики України 14.02.2018.

Важливо зазначити, що під час експлуатації системи користувачеві надається можливість безперервного доступу до інформації про стан мікроклімату приміщення. Для запобігання негативному впливу на зір та здоров'я користувачів, усі пристрої спроектовані з урахуванням вимог ергономіки та зменшення впливу синього світла. Також передбачено функцію автоматичного налаштування яскравості дисплея залежно від рівня освітлення в приміщенні.

Крім того, система підтримує багатокористувацький режим, що дозволяє кільком членам родини або працівникам офісу отримувати доступ до функціоналу

через мобільні додатки. Такий підхід не лише спрощує експлуатацію, але й підвищує ефективність управління мікрокліматом

Електробезпека забезпечується використанням енергоощадних елементів, що працюють при низьких напругах, зокрема 3.3 В, а також бездротовими технологіями передачі даних, що мінімізує ризик ураження електричним струмом.

При розробці системи були враховані вимоги наступних нормативних документів:

Закони України «Про охорону праці» та «Про пожежну безпеку»;

Санітарні вимоги ДСанПін 3.3.2-007-98, що визначають мінімальну площу та об'єм робочого місця, норми розташування робочих місць і звукоізоляції;

Норми освітлення згідно з ДБН В.2.5-28:2018, які визначають коефіцієнт природного освітлення не менше 1,5% та необхідність звукоізоляції приміщень;

ДСТУ EN IEC 62368-1:2020 «Аудіо/відео, інформаційне та комунікаційне обладнання. Частина 1. Вимоги до безпеки».

Таким чином, при розробці і експлуатації системи використовувалися актуальні державні і міжнародні стандарти, що регулюють розрахункові параметри мікроклімату, технічні вимоги до обладнання та забезпечення безпеки.

Таким чином, при розробці і експлуатації системи використовувалися актуальні державні і міжнародні стандарти, що регулюють розрахункові параметри мікроклімату, технічні вимоги до обладнання та забезпечення безпеки.

4.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Вплив надзвичайних ситуацій мирного часу на роботу адаптивної системи моніторингу та управління мікрокліматом. Надзвичайні ситуації мирного часу, такі як техногенні аварії, стихійні лиха, пожежі та хімічні викиди, можуть значно вплинути на функціонування адаптивної системи моніторингу та управління мікрокліматом. Основними факторами, що ускладнюють роботу системи, є перебої в електропостачанні, пошкодження обладнання та збої в комунікаційних мережах. Ці

чинники можуть призвести до втрати контролю над параметрами мікроклімату, що може негативно вплинути на комфорт та безпеку користувачів.

Для забезпечення стійкості системи під час надзвичайних ситуацій важливо враховувати наступні аспекти:

- резервне енергозабезпечення, установлення джерел безперебійного живлення (ДБЖ) або альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі, дозволяє підтримувати роботу системи під час відключень електроенергії. Наприклад, інтеграція сонячних батарей із акумуляторами може забезпечити безперервну роботу навіть у віддалених регіонах;
- фізичний захист компонентів системи, розташування критичних елементів у захищених приміщеннях або корпусах, стійких до впливу механічних і температурних навантажень. Це включає використання термостійких матеріалів і спеціалізованих корпусів, здатних витримувати високі температури чи вологість;
- резервування комунікаційних каналів, забезпечення дублюючих каналів зв'язку для мінімізації впливу на роботу системи у разі втрати основних каналів передачі даних. Використання як дротових, так і бездротових мереж значно підвищує надійність системи.

Як зазначено у [1, с. 47-50], системи повинні проектуватися з урахуванням можливих сценаріїв надзвичайних ситуацій, що знижує ймовірність збоїв у роботі. Крім того, навчання персоналу діям у критичних ситуаціях є обов'язковим для підтримання працездатності системи у будь-яких умовах. Особливо важливим є створення детальних інструкцій для операторів системи, що охоплюють усі можливі сценарії надзвичайних ситуацій

4.2.2. Заходи захисту адаптивної системи моніторингу та управління мікрокліматом під час надзвичайних ситуацій мирного часу. Для захисту системи моніторингу та управління мікрокліматом у надзвичайних ситуаціях застосовуються комплексні заходи, спрямовані на забезпечення її безперебійної роботи та

відновлення функціональності після інцидентів. Відповідно до рекомендацій [2, с. 32-35], ці заходи включають:

- розробку планів реагування, визначення чітких процедур дій у разі надзвичайних ситуацій, включаючи порядок відключення, евакуації, перевірки стану системи та відновлення її роботи. План повинен охоплювати усі аспекти, включаючи координацію між технічним персоналом та користувачами;
- моніторинг зовнішніх умов, використання спеціальних датчиків для контролю параметрів зовнішнього середовища, що дозволяє вчасно виявити загрози (наприклад, задимлення або підвищення температури).). Наприклад, інтеграція датчиків диму в систему дозволяє оперативно виявляти початкові ознаки пожежі;
- використання протоколів аварійного вимкнення, захист системи від критичних пошкоджень за допомогою автоматичного переходу у безпечний режим у разі перевищення граничних параметрів. Цей захід запобігає виходу з ладу обладнання та мінімізує ризики для користувачів;
- захист даних, використання шифрування та резервного копіювання для збереження інформації навіть у разі фізичного пошкодження компонентів системи.. Особливу увагу слід приділяти регулярному оновленню резервних копій у віддалених сховищах для захисту від локальних інцидентів.

Додатково, у посібнику [3, с. 60-62] наголошується на важливості тестування системи у змодельованих надзвичайних ситуаціях для оцінки її стійкості. Такі заходи дозволяють визначити слабкі місця та забезпечити їх оперативне усунення. Наприклад, моделювання впливу землетрусу або повені дозволяє оцінити стійкість компонентів системи до подібних загроз.

Таким чином, забезпечення безпеки адаптивної системи моніторингу та управління мікрокліматом у надзвичайних ситуаціях потребує комплексного підходу, що враховує технологічні, організаційні та нормативні аспекти. Реалізація цих заходів забезпечує мінімізацію ризиків і стабільну роботу системи навіть за умов надзвичайних ситуацій.

4.3. Висновки до розділу 4

У цьому розділі було розглянуто вплив надзвичайних ситуацій мирного часу на роботу адаптивної системи моніторингу та управління мікрокліматом, а також визначено основні заходи її захисту. З'ясовано, що надзвичайні ситуації, такі як техногенні аварії, стихійні лиха та пожежі, можуть суттєво впливати на функціонування системи через перебої в електропостачанні, пошкодження обладнання та збої комунікацій.

Для забезпечення стійкості системи було запропоновано впровадження резервного енергозабезпечення, фізичного захисту компонентів, резервування каналів зв'язку та інших технологічних рішень. Особливу увагу приділено розробці планів реагування на надзвичайні ситуації, впровадженню систем моніторингу зовнішніх умов і заходам захисту даних. Важливість таких заходів підтверджується як міжнародними стандартами, так і рекомендаціями фахівців, наведеними у використаних джерелах.

Таким чином, реалізація запропонованих заходів дозволить забезпечити стабільну та безпечну роботу адаптивної системи моніторингу і управління мікрокліматом навіть у складних умовах, що виникають під час надзвичайних ситуацій.

ВИСНОВКИ

Основні висновки та наукові результати дослідження можна узагальнити наступним чином:

1. Уперше розроблено адаптивну систему моніторингу, персоналізації, оптимізації енерговитрат та управління якістю мікроклімату для розумного будинку на базі Arduino Uno R3, яка враховує особисті уподобання користувачів та поточний стан навколишнього середовища, що дало змогу підвищити ефективність використання ресурсів і рівень комфорту користувачів.

2. Запропоновано алгоритми адаптивного управління мікрокліматом, які поєднують методи машинного навчання та PID-регулювання. Це дозволило забезпечити прогнозування змін параметрів і їх регулювання в реальному часі.

3. Обґрунтовано використання мультисенсорних даних для побудови персоналізованих режимів управління мікрокліматом, що забезпечило зниження енергоспоживання до 20% при збереженні комфортних умов проживання.

4. Удосконалено методи оптимізації енерговитрат шляхом інтеграції даних з різних сенсорів та розробки відповідних математичних моделей, що дало змогу покращити точність оцінки енергетичних потреб системи.

5. Уперше впроваджено програмно-апаратну систему для інтеграції та управління параметрами мікроклімату у розумному будинку на базі Arduino R3. Система забезпечує інтеграцію з іншими елементами розумного будинку, такими як системи освітлення і безпеки.

6. Розроблено програмне забезпечення для налаштування та управління системою в реальному часі з урахуванням змін внутрішніх та зовнішніх умов, що дозволило підвищити гнучкість і адаптивність роботи системи.

7. Проведено тестування розробленої системи в реальних умовах, яке підтвердило її працездатність, відповідність заявленим характеристикам і здатність до інтеграції в сучасні розумні будинки.

8. Уперше впроваджено програмно-апаратну систему для інтеграції та управління параметрами мікроклімату у розумному будинку на базі Arduino R3, яка забезпечує взаємодію з іншими елементами розумного будинку.

9. Отримані практичні висновки щодо стабільності, продуктивності та зручності використання запропонованої системи для кінцевих користувачів.

10. Визначені недоліки створеної системи, еред яких складність початкового налаштування через велику кількість параметрів, залежність точності прогнозування від якості даних сенсорів та можливі обмеження масштабованості системи. Також виявлено потребу в подальшій модернізації апаратної частини для підвищення продуктивності.

Усі ці результати підтверджують поставлену гіпотезу, досягнення мети та виконання завдань дослідження. Таким чином, запропоновані підходи до адаптивного моніторингу, персоналізації, оптимізації енерговитрат та управління якістю мікроклімату в розумному будинку реалізовані у вигляді програмно-апаратної системи, алгоритмів та математичних моделей, апробованих у реальних умовах.

Поставлені задачі магістерського дослідження виконано в повному обсязі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Програма та методичні рекомендації з проходження практики за тематикою кваліфікаційної роботи для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ. 2024. 45 с.
2. Луцик Н.С., Луцків А.М., Осухівська Г.М., Тиш Є.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи магістра для студентів спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» другого (магістерського) рівня вищої освіти усіх форм навчання. Тернопіль. 2024. 44 с.
3. Варавін А.В., Лецишин Ю.З., Чайковський А.В. Методичні вказівки до виконання курсового проєкту з дисципліни «Дослідження і проєктування комп'ютерних систем та мереж» для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 32 с.
4. Фецак В. Leap-технології як ефективний метод управління. Матеріали V міжнародної науково-практичної конференції учених та студентів "Цифрова економіка як фактор інновацій та сталого розвитку суспільства" Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль: ТНТУ, 2024.
5. Фецак В., Тиш Є. Дослідження методів інтеграції систем адаптивного управління мікрокліматом та оптимізації енерговитрат у розумному будинку. XII науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль : ТНТУ. 2024. С.94-95.
6. Фецак В., Тиш Є. Дослідження методів інтеграції мультисенсорних систем для адаптивного моніторингу та оптимізації мікроклімату в розумному будинку. XII науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль : ТНТУ. 2024. С.96-97.
7. Вілібніцький О.М., Тиш Є.В. Інноваційні рішення в області адаптивного контролю освітленням. Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (6-7 грудня

2023 року) Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Тернопіль: ТНТУ. 2023. 263 с.

8. Балакунець О.В., Тиш Є.В. Принципи організації та роботи контролера резервного живлення. Матеріали IX науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, (Тернопіль, 8 – 9 грудня 2021 р.). Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2021. С. 105.

9. Балакунець О.В., Тиш Є.В. Методи та програмно-апаратне забезпечення системи резервного живлення в комп'ютерних системах. Актуальні задачі сучасних технологій : збірник тез доповідей X міжнародної науково-практичної конференції Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 листопада 2021 р.). Міністерство освіти і науки України, Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя [та ін.]. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. Т. 1. С.84. 1

10. Куплений О.Д., Тиш Є.В. Розрахунок температури води у системі опалення відносно зовнішньої температури повітря. Актуальні задачі сучасних технологій : Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (6 – 7 грудня 2023). Тернопіль, 2023. с. 260. 1

11. Куплений О.Д., Тиш Є.В. Розрахунок температури води у системі опалення відносно зовнішньої температури повітря. Актуальні задачі сучасних технологій : Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів (6 – 7 грудня 2023). Тернопіль, 2023. с. 260. 1

12. Вілібніцький О.М., Тиш Є.В. Дослідження фоточутливих датчиків у створенні інтелектуальних систем освітлення. Матеріали XI науково-технічної конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя «Інформаційні моделі, системи та технології» (13-14 грудня 2023 року). Тернопіль: ТНТУ. 2023. С. 139. 1

13. Стручок В. С. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання «БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ» Тернопіль: ТНТУ, 2024. 155 с.

14. Стручок В. С. Навчальний посібник «ТЕХНОЕКОЛОГІЯ ТА ЦИВІЛЬНА

БЕЗПЕКА. ЧАСТИНА «ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА»». Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

15. Zhang, Q., Cheng, X., & Zhang, Y. Smart Home Systems: An Internet of Things Perspective. Springer, 2023. 412 с.

16. Williams, J., & Kane, P. Adaptive Climate Control in Smart Buildings. IEEE Transactions on Smart Systems, 2022, 15(3), pp. 87–101.

17. Martinez, A. Artificial Intelligence in HVAC Systems: Efficiency and Comfort Optimization. Taylor & Francis, 2021. 389 с.

18. Офіційний сайт Zigbee Alliance. Zigbee Technology Overview. URL: <https://zigbeealliance.org> (дата звернення: 15.12.2024).

19. Офіційний сайт Modbus Organization. Modbus Protocol Overview. URL: <https://modbus.org> (дата звернення: 14.12.2024).

20. Офіційна документація MQTT. MQTT Standard. URL: <https://mqtt.org/documentation> (дата звернення: 12.12.2024).

21. Guo, R., & Chen, H. Energy Management Strategies for Smart Homes. Journal of Energy Systems Research, 2021, 30(4), pp. 245–260.

22. Офіційний сайт KNX Association. KNX Protocol for Smart Homes. URL: <https://knx.org> (дата звернення: 13.12.2024).

23. Smith, L. Integration of IoT and Smart Building Technologies. Elsevier, 2022. 332 с.

24. Kim, J., & Lee, D. Advanced Control Techniques for Microclimate Optimization. Springer, 2023. 401 с.

Додаток А
Тези конференцій



**«ЦИФРОВА ЕКОНОМІКА
ЯК ФАКТОР ІННОВАЦІЙ
ТА СТАЛОГО РОЗВИТКУ СУСПІЛЬСТВА»**

Тези доповідей
V міжнародної науково-практичної
конференції учених та студентів
28-29 листопада 2024 року

УДК 658.5

В.Р.Фецак, здобувач другого (магістерського) рівня вищої освіти

Науковий керівник: І.О.Мартиняк, канд.екоп.наук, доцент

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна

LEAN-ТЕХНОЛОГІЇ ЯК ЕФЕКТИВНИЙ МЕТОД УПРАВЛІННЯ

V. Fetsak, the 2nd (master's) level of higher education applicant

I. Martyniak, PhD., Associate Prof., scientific supervisor

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

LEAN TECHNOLOGIES AS THE EFFECTIVE MANAGEMENT INSTRUMENT

Lean-технології є одним із ефективних інструментів управління операційною діяльністю, який зараз використовується в сучасних фірмах. Основний принцип Lean-технологій є уникнення зайвих витрат, оптимізація робочих процесів, виробництва якісної продукції і задоволення потреб максимальної кількості споживачів при збереженні конкурентоспроможності. В новітніх умовах Lean-підхід є зручним і ефективним інструментом для реалізації проектів, де відіграють велике значення швидкість виконання завдань і мінімізація витрат [1].

Lean-технології охоплюють певний набір методів та інструментів, таких як 5S, Kanban, Value Stream Mapping та Kaizen, що надає можливість організаціям оптимальним чином управляти ресурсами, контролювати якість та знижувати витрати. Наприклад, методологія 5S забезпечує впорядкування робочих місць та забезпечує його підтримку, що дає можливість витрачати менше часу на пошук інструментів та матеріалів, а також можливість покращення продуктивності роботи співробітників [2].

Однією з основних переваг Lean є можливість постійного вдосконалення через методику Kaizen. Це дозволяє організаціям здійснювати безперервні поліпшення на всіх етапах роботи, обираючи високий рівень адаптивності до змін у вимогах з боку клієнтів, а також ринкових умов. Таким чином, реалізація Lean-технологій дозволяє не лише знижувати витрати, але й підвищувати задоволення клієнтів, що є ключовим фактором у сучасному бізнес-середовищі [3].

Ефективність використання таких технологій робить їх особливо популярними для впровадження в управлінні проектами, що дозволяє зробити традиційні технології більш гнучкими та сучасними [4].

Lean-підхід застосовується не лише у виробництві, а й у різних галузях бізнесу, таких як маркетинг і фінанси. Наприклад, у маркетингу Lean дає змогу оперативно коригувати стратегії на основі зворотного зв'язку з клієнтами, що забезпечує швидку реакцію на зміни ринку. У фінансах цей підхід допомагає банкам і фінансовим установам оптимізувати процеси, і запускати нові продукти без зайвих витрат часу і ресурсів [5].

Успішне впровадження Lean вимагає не лише нових методик, але й змін у корпоративній культурі. Працівники повинні бути більш самостійними, гнучкими та орієнтованими на постійне вдосконалення. Це можливо лише у середовищі, де підтримуються принципи Lean і культивується командна робота та інновації.

Водночас Lean має й певні виклики:

- потреба в культурних змінах;
- необхідність підготовки персоналу до нових методів роботи;
- труднощі в адаптації Lean в організаціях з усталеною корпоративною культурою.

Таким чином, при підготовці спеціалістів для роботи, необхідно враховувати не лише їх професійний досвід та кар'єрний шлях, але й готовність навчатися, стійкість до критичних ситуацій та гнучкість у прийнятті рішень.

Саме такий підхід дозволить організації не лише використовувати наявні технічні рішення, але й сформувати команду, готову працювати із ними.

Література

1. Herbertograca, H. Lean and Agile in Software Development URL: <https://herbertograca.com/2017/02/27/what-is-lean-and-agile-about-software-architecture/>.
2. Lean Enterprise Institute. Value Stream Mapping Overview URL: <https://www.lean.org/WhatsLean/ValueStreamMapping.cfm>.
3. Project Management Institute (PMI). Kaizen: Improvement Through Small Changes URL: <https://www.pmi.org/disciplined-agile/resources/articles/kaizen>.
4. Мартиняк, І., Бакушевич, І. (2024). ГІБРИДНІ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТАМИ В УМОВАХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ ТА ЦИФРОВОЇ ЕКОНОМІКИ. *Сталий розвиток економіки*, (3(50), 21-26. <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-50-4>
5. Lean in Marketing and Sales: Exploring Lean Thinking in Market Strategies URL: <https://www.lean.org/lean-thinking/marketing-sales/>.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА**

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



18-19 грудня 2024 року

**ТЕРНОПІЛЬ
2024**

В. Федорієнко, О. Жук ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ В ІНТЕРЕСАХ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ	92
В. Р. Цвігун, М. В. Деркач, АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ MOBSF V. R. Tsvihun, M. V. Derkach SECURITY ANALYSIS OF MOBILE APPLICATIONS USED BY MOBSF	93
В. Фецак, Є. Тиш ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ V. Fetsak, I. Tysh RESEARCH OF ALGORITHMS FOR ADAPTIVE CONTROL OF MICROCLIMATE QUALITY AND ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION IN A SMART HOME	94
В. Фецак, Є. Тиш ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МІКРОКЛІМАТУ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ V. Fetsak, I. Tysh RESEARCH OF MULTI-SENSOR SYSTEM INTEGRATION METHODS FOR ADAPTIVE MONITORING AND MICROCLIMATE OPTIMIZATION IN A SMART HOME	96
А. Хом'як ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕГ СИГНАЛІВ A. Khomiak IMPROVEMENT OF MEG SIGNAL CLASSIFICATION VIA THE USAGE OF SYNTHETIC SIGNALS	98
І. С. Цимбрак РЕАЛІЗАЦІЯ КРИПТОАЛГОРИТМУ ХЕШУВАННЯ SHA256 I. S. Tsymbrak IMPLEMENTATION OF THE SHA256 HASHING CRYPTO ALGORITHM	99
А. Б. Чекановський, К. Б. Швирло СТРАТЕГІЇ ПОКРАЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РЕЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ A. B. Chekanovskyi, K. B. Shvyrlo STRATEGIES FOR IMPROVING PERFORMANCE OF RELATIONAL DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS	100
І. О. Баран, Ю. Р. Чорна ТИПИ АНОМАЛІЙ I. O. Baran, Yu. R. Chorna TYPES OF ANOMALIES	101
О. Чорновол ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ МЕРЧАНДАЙЗИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ O. Chornovol INFORMATION SYSTEM FOR MERCHANDISING USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES	102
К. Чурбаков ВИКОРИСТАННЯ МОВИ LUA ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ IDS/IPS K. Churbakov USING LUA LANGUAGE TO EXTEND THE FUNCTIONALITY OF IDS/IPS	103

УДК 628.8

В. Фецак; Є. Тиш, к.т.н., доц

Тернопільський національний технічний університет, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

V. Fetsak; I. Tysh, Ph.D., Associate Prof.

Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ukraine

RESEARCH OF ALGORITHMS FOR ADAPTIVE CONTROL OF MICROCLIMATE QUALITY AND ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION IN A SMART HOME

Сучасні системи розумного будинку інтегрують автоматизовані методи управління мікрокліматом, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання та покращити комфорт для мешканців. Одним із ключових завдань таких систем є підтримання комфортного середовища для мешканців за мінімальних енерговитрат. У даному дослідженні основна увага приділена адаптивному управлінню мікрокліматом у житлових приміщеннях [3].

Адаптивне управління дозволяє системі автоматично підлаштовуватися до змін зовнішніх та внутрішніх умов, таких як температура, вологість та якість повітря [1]. Для досягнення цієї мети було розроблено та протестовано алгоритми, що забезпечують динамічне корегування параметрів мікроклімату, включаючи прогнозування змін умов на основі зібраних даних з сенсорів таких як DHT22 для контролю температури, AM2302 для вологості, MQ-135 для якості повітря, освітлення забезпечується через модулі BH1750, інтегровані з LED-лампами [2].

Особливістю запропонованого підходу є використання адаптивного PID-регулювання з елементами машинного навчання, що дозволяє прогнозувати зміну параметрів мікроклімату та оптимізувати роботу виконавчих механізмів [4]. Наприклад, якщо прогнозується підвищення температури через сонячне нагрівання, система автоматично знижує інтенсивність роботи нагрівачів, зберігаючи комфортні умови [5]. Функція управління задається рівнянням:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (1)$$

де $e(t)$ – відхилення поточного значення параметра від заданого, K_p , K_i , K_d – коефіцієнти PID-регулятора.

Для оптимізації енерговитрат використовується цільова функція:

$$E_{opt} = \min \left(\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \right), \quad (2)$$

де P_i – потужність пристрою, t_i – час його роботи, n – кількість пристроїв.

Прототип системи був протестований у реальних умовах, і результати експериментів підтвердили її ефективність [6]. Встановлено, що адаптивне управління дозволяє значно підвищити енергоефективність будинку, одночасно забезпечуючи комфортні умови проживання [3].

На рисунку 1 представлено графік зміни температури та вологості, і зниження енергоспоживання під час роботи алгоритму системи.

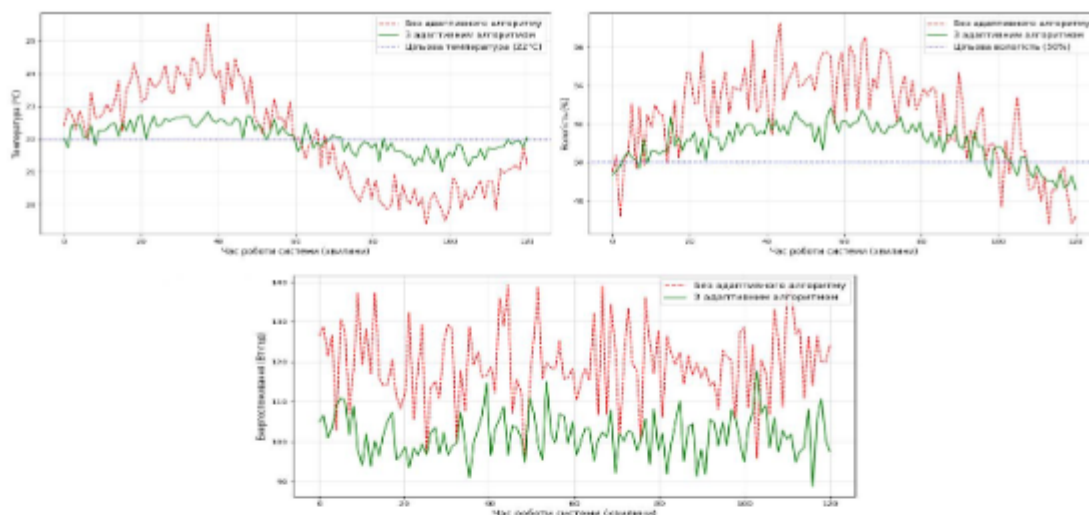


Рисунок 1. Графіки зміни температури та вологості, і зниження енергоспоживання під час роботи алгоритму системи

Експериментальні випробування показали:

- Точність підтримання параметрів мікроклімату: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ для температури, $\pm 2\%$ для вологості;
- Зниження енергоспоживання на 15% порівняно зі стандартними алгоритмами;
- Висока стабільність роботи навіть за умов раптових змін температури та вологості.

Висновок. Розроблені алгоритми забезпечують адаптивне управління параметрами мікроклімату, мінімізуючи енерговитрати. Подальший розвиток системи передбачає інтеграцію додаткових сенсорів та впровадження більш складних алгоритмів машинного навчання для прогнозування довготривалих змін.

Література

1. Angelopoulos C., Gondchawar S., Kawitkar R. IoT for Microclimate Monitoring in Greenhouses. *Jurnal FP Unila*, 2020. – No 34, PP. 50-60. – Режим доступу: <https://jurnal.fp.unila.ac.id>.
2. IEEE Xplore. IoT-Based Weather Monitoring System Using Arduino UNO. *IEEE Conference Publication*, 2024. – Vol. 12, No 3, PP. 120-130. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9357748>.
3. MDPI. IoT-Enhanced Decision Support System for Real-Time Microclimate Monitoring and Control. *MDPI Sensors Journal*, 2024. – Vol. 22, No 10, PP. 985-1001. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com>.
4. WebbyLab. Automated Greenhouse Management with IoT. *WebbyLab Insights*, 2023. – Режим доступу: <https://webbylab.com>.
5. IJSTE. IoT-Based Environmental Monitoring System Using Arduino UNO and Thingspeak. *IJSTE Journal of Engineering Science*, 2023. – Vol. 4, Issue 9, PP. 65-72. – Режим доступу: <https://www.ijste.org>.
6. Hafiz R., Alam T., Dwiratna W. Efficient Use of IoT for Energy Management in Residential Spaces. *Sustainable Energy Journal*, 2021. – Vol. 18, No 4, PP. 45-53.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ІВАНА ПУЛЮЯ
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ім. ШЕВЧЕНКА

МАТЕРІАЛИ

ХІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

**«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**



18-19 грудня 2024 року

ТЕРНОПІЛЬ
2024

В. Федорієнко, О. Жук ПІДХІД ДО МОНІТОРИНГУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ В ІНТЕРЕСАХ СИЛ ОБОРОНИ УКРАЇНИ	92
В. Р. Цвігун, М. В. Деркач, АНАЛІЗ БЕЗПЕКИ МОБІЛЬНИХ ДОДАТКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ MOBSF V. R. Tsvihun, M. V. Derkach SECURITY ANALYSIS OF MOBILE APPLICATIONS USED BY MOBSF	93
В. Фецак, Є. Тиш ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОВИТРАТ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ V. Fetsak, I. Tysh RESEARCH OF ALGORITHMS FOR ADAPTIVE CONTROL OF MICROCLIMATE QUALITY AND ENERGY CONSUMPTION OPTIMIZATION IN A SMART HOME	94
В. Фецак, Є. Тиш ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МІКРОКЛІМАТУ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ V. Fetsak, I. Tysh RESEARCH OF MULTI-SENSOR SYSTEM INTEGRATION METHODS FOR ADAPTIVE MONITORING AND MICROCLIMATE OPTIMIZATION IN A SMART HOME	96
А. Хом'як ВИКОРИСТАННЯ СИНТЕТИЧНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕГ СИГНАЛІВ A. Khomiak IMPROVEMENT OF MEG SIGNAL CLASSIFICATION VIA THE USAGE OF SYNTHETIC SIGNALS	98
І. С. Цимбрак РЕАЛІЗАЦІЯ КРИПТОАЛГОРИТМУ ХЕШУВАННЯ SHA256 I. S. Tsymbtrak IMPLEMENTATION OF THE SHA256 HASHING CRYPTO ALGORITHM	99
А. Б. Чекановський, К. Б. Швирло СТРАТЕГІЇ ПОКРАЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ РЕЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАЗАМИ ДАНИХ A. B. Chekanovskyi, K. B. Shvyrlo STRATEGIES FOR IMPROVING PERFORMANCE OF RELATIONAL DATABASE MANAGEMENT SYSTEMS	100
І. О. Баран, Ю. Р. Чорна ТИПИ АНОМАЛІЙ I. O. Baran, Yu. R. Chorna TYPES OF ANOMALIES	101
О. Чорновол ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ДЛЯ МЕРЧАНДАЙЗИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ O. Chornovol INFORMATION SYSTEM FOR MERCHANDISING USING COMPUTER VISION TECHNOLOGIES	102
К. Чурбаков ВИКОРИСТАННЯ МОВИ LUA ДЛЯ РОЗШИРЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ IDS/IPS K. Churbakov USING LUA LANGUAGE TO EXTEND THE FUNCTIONALITY OF IDS/IPS	103

УДК 004.94

В. Фецак; Є. Тиш, к.т.н., доцент

Тернопільський національний технічний університет імені І. Пулюя, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ІНТЕГРАЦІЇ МУЛЬТИСЕНСОРНИХ СИСТЕМ ДЛЯ АДАПТИВНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ МІКРОКЛІМАТУ В РОЗУМНОМУ БУДИНКУ

V. Fetsak; I. Tysh, Ph.D., Associate Prof.

Ternopil Ivan Pulu National Technical University, Ukraine

RESEARCH OF MULTI-SENSOR SYSTEM INTEGRATION METHODS FOR ADAPTIVE MONITORING AND MICROCLIMATE OPTIMIZATION IN A SMART HOME

Розумні будинки інтегрують мультисенсорні системи, які підвищують ефективність моніторингу мікроклімату. Мультисенсорні системи забезпечують не лише збір даних, але й їхню інтеграцію для динамічного адаптивного управління мікрокліматом у приміщенні забезпечуючи персоналізацію і оптимізацію енерговитрат. [1][3].

У даному дослідженні основна увага приділена інтеграції сенсорів для створення єдиної адаптивної системи. Впровадження таких систем дозволяє адаптувати управління системою що враховуватиме зовнішні та внутрішні фактори, включаючи освітлення, вологість, температуру та якість повітря [4].

Особливістю запропонованого підходу є використання алгоритмів кластеризації для об'єднання даних від сенсорів у кластери, що дозволяє оптимізувати обробку інформації та маршрутизацію сигналів. Інтеграція алгоритмів машинного навчання забезпечує точніше прогнозування змін мікроклімату, враховуючи коливання параметрів, таких як температура, вологість і якість повітря. Для стабілізації параметрів використовуються інтелектуальні підходи до PID-регулювання, які адаптуються до отриманих сенсорних даних. Це дозволяє враховувати зовнішні фактори, наприклад, зміну температури від сонячного нагрівання або підвищення вологості під час приготування їжі [2].

На рисунку 1 представлено графіки зміни температури, вологості та енергоспоживання в реальних умовах роботи системи.

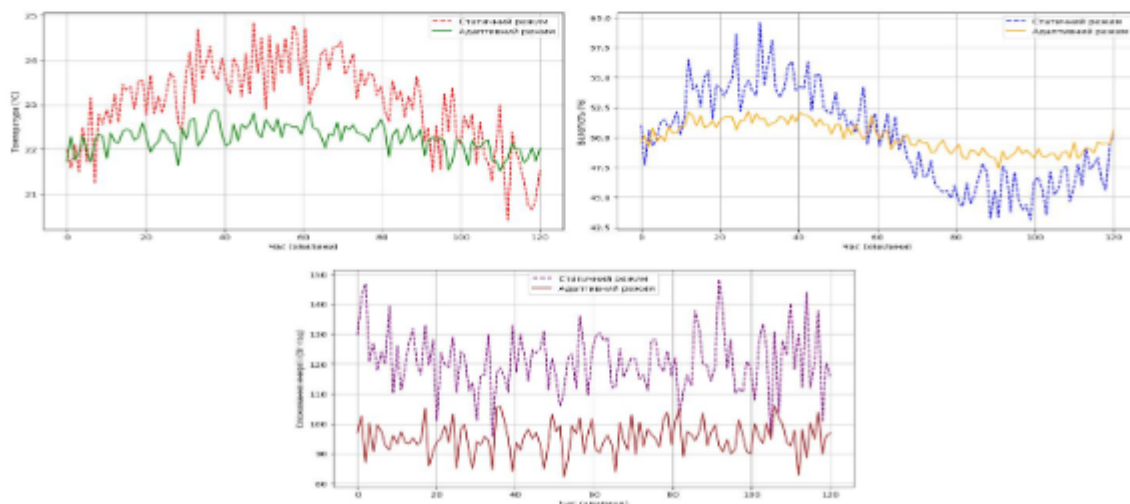


Рисунок 1. Графіки зміни температури, вологості та енергоспоживання в реальних умовах роботи системи.

Регулювання мікроклімату базується на прогнозуванні параметрів, використанні кластеризації даних і функції оптимізації роботи системи, формула:

$$U = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i \cdot \Delta P_i}{T_i} \right), \quad (1)$$

де U — ефективність роботи системи, W_i — ваговий коефіцієнт сенсора i , ΔP_i — зміна параметра мікроклімату (температура, вологість тощо), T_i — час реакції системи, n — кількість активних сенсорів [1][5].

Прототип системи був протестований у приміщенні площею 50 м² із симуляцією реальних умов.

Експериментальні випробування показали:

- Покращення точності підтримання параметрів: $\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ для температури, $\pm 1.2\%$ для вологості;
- Зниження енергоспоживання до 20%;
- Час реакції системи скоротився до 7 секунд.

Висновок. Інтеграція мультисенсорних систем у комбінації з інтелектуальними алгоритмами управління демонструє значне покращення ефективності роботи системи мікроклімату. Подальші дослідження спрямовані на вдосконалення алгоритмів кластеризації та впровадження штучного інтелекту [6].

Література

1. IoT-Enhanced Decision Support System for Real-Time Greenhouse Microclimate Monitoring and Control. *Sensors* (Switzerland), 2020. – Vol. 20, No. 7, PP. 1–16. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com>
2. Development of a Low-Cost Microclimate Monitoring System through IoT. *Archive*, 2022. – Режим доступу: <https://archive.org>
3. Sensor Systems for Greenhouse Microclimate Monitoring and Control: A Review. *Journal of Biosystems Engineering*, 2020. – Vol. 45, No. 3, PP. 12–34. – Режим доступу: <https://link.springer.com>
4. An IoT-Based System to Control the Greenhouse's Microclimate. *Springer*, 2019. – Режим доступу: <https://link.springer.com>
5. Development and Verification of Microclimate Control System. *Sciencedirect*, 2023. – Vol. 22, No. 1, PP. 10–25. – Режим доступу: <https://sciencedirect.com>
6. Evaluating Models for Predicting Microclimatic Parameters in Greenhouses. *Applied Ecology and Environmental Research*, 2020. – Vol. 18, No. 2, PP. 2141–2161. – Режим доступу: <https://doi.org>

Додаток Б

Фрагмент коду роботи системи

```
# Імпортуємо необхідні бібліотеки
import time
import Adafruit_DHT # Для роботи із сенсором температури та вологості
import RPi.GPIO as GPIO # Для роботи з GPIO на Raspberry Pi
from simple_pid import PID # Для PID-регулювання
import joblib # Для завантаження моделі машинного навчання

# Налаштування GPIO
GPIO.setmode(GPIO.BCM)
GPIO.setup(17, GPIO.OUT) # Вихід для управління обігрівачем
GPIO.setup(27, GPIO.OUT) # Вихід для управління кондиціонером
GPIO.setup(22, GPIO.OUT) # Вихід для управління зволожувачем

# Встановлюємо сенсор та пін
DHT_SENSOR = Adafruit_DHT.DHT22
DHT_PIN = 4 # Пін, до якого підключено сенсор

# Ініціалізація PID-регуляторів
pid_temp = PID(1.0, 0.1, 0.05, setpoint=22.5) # Налаштування PID для температури
pid_humidity = PID(1.0, 0.1, 0.05, setpoint=40.0) # Налаштування PID для вологості

# Завантаження моделі машинного навчання
ml_model = joblib.load('ml_model.pkl') # Завантаження моделі для прогнозування

# Функція для зчитування температури та вологості
def read_sensor():
    humidity, temperature = Adafruit_DHT.read_retry(DHT_SENSOR, DHT_PIN)
    if humidity is not None and temperature is not None:
        return humidity, temperature
    else:
        return None, None

# Функція для управління обігрівачем
def control_heater(state):
    GPIO.output(17, GPIO.HIGH if state else GPIO.LOW)

# Функція для управління кондиціонером
def control_ac(state):
    GPIO.output(27, GPIO.HIGH if state else GPIO.LOW)

# Функція для управління зволожувачем
def control_humidifier(state):
    GPIO.output(22, GPIO.HIGH if state else GPIO.LOW)
```

```

# Основна програма
try:
    while True:
        # Зчитуємо дані з сенсора
        humidity, temperature = read_sensor()

        if humidity is not None and temperature is not None:
            print(f"Температура:      {temperature:.1f}°C      Вологість:
{humidity:.1f}%")

            # Прогнозування оптимальних параметрів за допомогою ML
            predicted_setpoints = ml_model.predict([[temperature,
humidity]])
            temp_setpoint, humidity_setpoint = predicted_setpoints[0]

            pid_temp.setpoint = temp_setpoint
            pid_humidity.setpoint = humidity_setpoint

            # PID-регулювання температури
            temp_control = pid_temp(temperature)
            if temp_control > 0:
                control_heater(True)
                control_ac(False)
            elif temp_control < 0:
                control_heater(False)
                control_ac(True)
            else:
                control_heater(False)
                control_ac(False)

            # PID-регулювання вологості
            humidity_control = pid_humidity(humidity)
            if humidity_control > 0:
                control_humidifier(True)
            else:
                control_humidifier(False)

        else:
            print("Помилка зчитування даних з сенсора")

            time.sleep(5) # Пауза між зчитуваннями

except KeyboardInterrupt:
    print("Програма завершена користувачем")

finally:
    GPIO.cleanup() # Скидаємо налаштування GPIO

```