

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

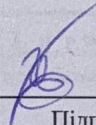
Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку
Назва теми

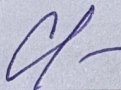
КВРКІ 22044.21.24.21.ПЗ
Шифр

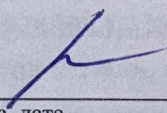
Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

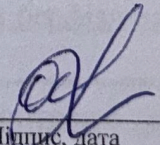
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав студент III курсу, група КІ2с-22-1  Олексій ЧЕГОВЕЦЬ
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Керівник  Світлана САЧЕНКО
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  Тетяна КИСІЛЬ
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю
зав.кафедри комп'ютерної
інженерії та інформаційних
систем

 Ольга ПАВЛОВА
Підпис, дата Ініціали, прізвище

«05» червня 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Олексію ЧЕГОВЦЮ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку

Керівник проекту (роботи) Світлана САЧЕНКО, д.т.н., проф.

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 03.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Кіберфізична система адаптивного контролю температури та вологості розумного будинку та постановка задачі щодо її удосконалення

Проектування системи обробки інформації у кіберфізичній системі адаптивного контролю температури та вологості розумного будинку.

Програмно-апаратна реалізація адаптивного контролю температури та вологості розумного будинку

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

Архітектура ПЗ проекту

Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи

Апаратне забезпечення проекту

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КІС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КІС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи контролю температури та вологості розумного будинку	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування системи контролю температури та вологості розумного будинку	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис





Олексій ЧЕГОВЕЦЬ
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Світлана САЧЕНКО
Ініціали, прізвище

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КВРКІ.22044.21.24.21.ПЗ	Пояснювальна записка	66		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КВРКІ.22044.21.24.21.Е8	Архітектура ПЗ проекту	1		
3		КВРКІ.22044.21.24.21.Е8	Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи	1		
4		КВРКІ.22044.21.24.21.Е8	Апаратне забезпечення проекту	1		

					КВРКІ 22044.21.24.21.ВП			
Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проекту	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Чеговец		06.06.25		У	1	66
Перевір.		Саченко				ХНУ, КІ2-22-1		
Н. контр.		Кисіль		06.06.25				
Затв.		Павлова		06.06.25				

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку».

Автор роботи: Чеговець Олексій Анатолійович

Керівник роботи: Савенко Олег Станіславович.

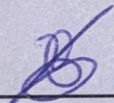
Пояснювальна записка: 66 с., 5 рис., 40 джерел.

Метою дипломної роботи є визначення умов та особливостей керуванням температурою та вологістю, а також оцінка механізмів обробки інформації.

Об'єктом дослідження є функціонування та керування температурою та вологістю розумного будинку.

Предметом дослідження є оцінка режимів застосування керування температурою та вологістю розумного будинку.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.



Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КРИТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ	6
1.1 Огляд англомовних публікацій із відомими реалізаціями	6
1.2 Аналіз предметної області	8
1.3 Класифікація сенсорних технологій для контролю мікроклімату в "розумному будинку"	11
1.4 Висновки до першого розділу	17
2 ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ	19
2.1 Проектування структурної схеми контролю мікроклімату.....	19
2.2 Вибір компонентів для реалізації мікропроцесорної системи контролю температури та вологості.....	28
2.3 Обґрунтування вибору датчика температури та вологості.....	37
2.4 Висновки до розділу 2.....	42
3 АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ	44
3.1 Проектування розподіленої сенсорної мережі	44
3.2 Розробка алгоритму функціонування системи автоматичного керування мікрокліматом.....	55
3.3 Розробка програмного забезпечення системи автоматичного керування мікрокліматом.....	62
3.4 Висновки до третього розділу	67

КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Олексій ЧЕГОВЕЦЬ		06.06.24	Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Світлана САЧЕНКО				У	2	66
Н.контр.		Тетяна КИСІЛЬ			<i>ХНУ, КІ2с-22-1</i>			
Затвер.		Ольга Павлова						

ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	71
ДОДАТОК А	76
ДОДАТОК Б.....	77
ДОДАТОК В.....	78

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Рациональне використання енергоресурсів у системах автоматизації житлових будинків стає надзвичайно важливим на тлі глобальної тенденції до підвищення енергоефективності та комфорту. Особливої уваги набуває контроль таких параметрів, як температура і вологість приміщень, оскільки вони безпосередньо впливають на якість життя мешканців і рівень енергоспоживання. Впровадження інтелектуальних систем регулювання мікроклімату дає змогу не лише оптимізувати витрати ресурсів, а й забезпечити стабільні умови для комфортного та безпечного проживання у "розумному будинку".

З огляду на дані міжнародних досліджень, системи керування мікрокліматом становлять одну з основних складових енергоспоживання в сучасних житлових комплексах. Використання передових технологій, таких як мікропроцесорні контролери, датчики температури та вологості, а також алгоритми інтелектуального аналізу даних, дозволяє зменшити витрати енергії на опалення, охолодження та вентиляцію на 30–60%. Це, своєю чергою, сприяє зниженню експлуатаційних витрат, зменшенню викидів парникових газів та підвищенню енергоефективності будівель.

У межах концепції "розумного будинку" особливу роль відіграють автоматизовані системи моніторингу й регулювання мікроклімату. Оснащення приміщень численними сенсорами, інтеграція їх з мікропроцесорними модулями обробки даних та використання алгоритмів самонавчання дозволяють створювати середовище, яке адаптується до змін температури, вологості, присутності людей та інших факторів у реальному часі. Такий підхід забезпечує підвищення комфорту, скорочення споживання енергії та продовження терміну служби кліматичного обладнання.

Додатковим чинником ефективності системи є інтеграція технологій інтернету речей (IoT), які забезпечують віддалене керування та моніторинг усіх процесів. Завдяки об'єднанню апаратних та програмних засобів формується

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

кіберфізична система, здатна оперативно аналізувати середовище та здійснювати необхідні зміни параметрів мікроклімату. Це сприяє підвищенню стабільності роботи системи, мінімізації людського втручання й досягненню максимального рівня автоматизації та енергоощадності в житлових приміщеннях.

Головна мета дипломного проєкту полягає у створенні мікропроцесорної системи контролю температури та вологості розумного будинку, яка зможе автоматично регулювати роботу кліматичного обладнання відповідно до заданих параметрів та фактичних умов середовища.

Для досягнення цієї мети передбачається виконати такі завдання: провести аналіз сучасних рішень у сфері автоматизації мікроклімату та визначити їхні особливості, переваги та обмеження; дослідити характеристики датчиків температури та вологості, які найкраще підходять для використання в домашніх умовах; розглянути ефективні алгоритми обробки даних сенсорів і методи прогнозування змін параметрів мікроклімату; спроектувати архітектуру мікропроцесорної системи для інтеграції в інфраструктуру "розумного будинку"; розробити програмне забезпечення для реального моніторингу та управління кліматичними умовами; реалізувати обмін даними між компонентами системи за допомогою IoT-технологій і хмарних сервісів для забезпечення безперервного контролю і оптимізації; провести випробування створеної системи в реальних умовах експлуатації та оцінити її ефективність, стабільність і енергоощадність.

Запропонований підхід до побудови мікропроцесорної системи контролю температури та вологості дасть змогу досягти істотного підвищення комфорту проживання, оптимізувати витрати енергії на опалення та кондиціонування повітря, а також сприятиме зниженню експлуатаційних витрат і покращенню екологічної ситуації через раціональне використання ресурсів у житловому секторі.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ КРИТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

1.1 Огляд англomовних публікацій із відомими реалізаціями

Останніми роками інтелектуальні системи автоматизації будинків, що забезпечують безпеку та клімат-контроль, набули широкої популярності завдяки поєднанню мікроконтролерів і IoT-платформ [1, 4, 21, 37, 38]. Вони дозволяють централізовано керувати температурою, вологістю, якістю повітря та іншими параметрами середовища через смартфон або веб-інтерфейс, підвищуючи комфорт і безпеку мешканців.

Серцем таких систем є мікроконтролери STM32, ESP32 та інші платформи, які з'єднуються з різноманітними датчиками (DHT22, BME280 тощо) для зняття показників температури й вологості [1, 3, 7, 27, 29]. Виконавчі механізми, як-от вентилятори та нагрівачі, керуються безпосередньо з пристроєм або через шлюзи, що реалізують логіку роботи й зв'язок із хмарою [24].

Сучасні рішення включають моніторинг не лише температури та вологості, а й інтенсивності освітлення та якості повітря (CO₂, леткі органічні сполуки) за допомогою комплексних сенсорних модулів [5, 8, 9, 23, 28]. Ці дані дозволяють реалізувати адаптивні алгоритми керування, що реагують на зміну умов у реальному часі.

Для передачі телеметрії найчастіше використовують протоколи MQTT, ZigBee, LoRaWAN та Wi-Fi залежно від потреб у дальності покриття та енерговитрат [13, 14, 24, 31, 34, 37]. LoRaWAN особливо ефективний у великих резиденціях або комплексах, де критична енергоефективність і дальність зв'язку [14, 31].

Архітектурно системи побудовані на поєднанні edge-обчислень і хмарних сервісів. Edge-контролери забезпечують базову логіку та автономну роботу при

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

відсутності інтернет-зв'язку, тоді як хмарні платформи збирають телеметрію, виконують складну аналітику й архівують історію змін [16, 19, 22, 30, 36].

Для адаптивного керування кліматом застосовують нечітку логіку та методи машинного навчання (ML) – від простих алгоритмів нечіткого виведення до підкріплювального навчання (RL) і глибоких нейронних мереж [2, 15, 16, 32, 33, 39]. Це дозволяє враховувати індивідуальні переваги мешканців та прогностично оптимізувати енерговитрати.

Інтерфейси користувача реалізуються через мобільні додатки та REST-API, що дає змогу налаштовувати режими роботи й переглядати історію даних в онлайн-режимі [3, 6, 12, 17]. Багато систем пропонують готові SDK для швидкого створення кастомізованих рішень.

Порівняльні дослідження алгоритмів управління HVAC, а також міжплатформні тести мікроконтролерів демонструють, що вибір стратегії залежить від архітектури будівлі та кліматичної зони, а також від доступної обчислювальної потужності пристроїв [25, 26, 29, 40].

Енергоефективність підвищується завдяки алгоритмам оптимального керування: PWM-димування, адаптивні таймери та підкріплювальне навчання, яке дозволяє мінімізувати споживання при збереженні комфортного клімату [18, 19, 33, 34].

Для забезпечення кібербезпеки застосовують шифрування TLS, аутентифікацію та ACL на рівні MQTT-брокерів, що значно знижує ризики атак типу «людина посередині» та несанкціонованого доступу [11, 20, 28, 35].

Перспективними напрямками є цифрові двійники HVAC-систем для прогнозного обслуговування, інтеграція з платформами AR/VR та подальший розвиток edge AI для автономного прийняття рішень на пристроях [10, 19, 38, 39, 40].

Таким чином, сучасні системи автоматизації клімат-контролю в будинках інтегрують апаратні рішення на базі мікроконтролерів, різноманітні протоколи зв'язку, хмарні та edge-обчислення, передові алгоритми ML/AI і суворі

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

механізми кібербезпеки. Майбутні розробки спрямовані на поглиблену інтеграцію з цифровими двійниками, розширене використання підкріплювального навчання та вдосконалення інтерфейсів для користувачів

1.2 Аналіз предметної області

Автоматизовані системи контролю температури та вологості є невід'ємною складовою концепції "розумного будинку", що активно впроваджується у сучасному житловому будівництві. Такі системи виконують критично важливу роль у забезпеченні енергоефективності, комфорту та безпеки мешканців, створюючи оптимальні умови проживання без необхідності постійного втручання людини. Розробка і впровадження інтелектуальних мікрокліматичних систем стає відповіддю на глобальні виклики, пов'язані зі зростанням споживання енергії та підвищенням вимог до якості життя.

Автоматизація мікрокліматичних процесів у приміщеннях дозволяє суттєво зменшити витрати на опалення, кондиціонування та вентиляцію, одночасно підвищуючи стабільність параметрів навколишнього середовища. Завдяки використанню мікропроцесорних контролерів, високоточних сенсорів та інтелектуальних алгоритмів обробки даних, система може в режимі реального часу аналізувати внутрішні й зовнішні фактори, прогнозувати зміни умов та своєчасно коригувати налаштування кліматичних пристроїв.

Одним із ключових елементів мікрокліматичного середовища є контроль температури приміщень, що має забезпечувати комфорт як у холодний, так і в теплий періоди року. Зниження або підвищення температури має бути узгоджене з фактичною присутністю людей, ступенем сонячної інсоляції, тепловиділенням побутової техніки та іншими факторами. Також важливо підтримувати стабільний рівень вологості, оскільки її надмірне зниження чи підвищення негативно впливає на здоров'я людини, а також на стан будівельних матеріалів, меблів та електроніки.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

Системи автоматичного керування мікрокліматом враховують різноманітні аспекти житлового простору, серед яких кількість та активність мешканців, режим роботи побутових приладів, погодні умови зовнішнього середовища та навіть індивідуальні уподобання користувачів. Завдяки широкому спектру датчиків (температури, вологості, присутності, вуглекислого газу), інформація про поточний стан середовища постійно надходить до центрального контролера, який аналізує її за заданими алгоритмами та приймає рішення щодо зміни параметрів системи опалення, кондиціонування або вентиляції.

Особливу роль у розвитку таких систем відіграє використання інтернету речей (IoT), який дозволяє об'єднати всі пристрої в єдину мережу, забезпечити централізований контроль, віддалений моніторинг та адаптивне керування на основі аналізу великих обсягів даних. Завдяки цьому "розумний будинок" може не лише підтримувати комфортні умови проживання, а й самонавчатися, оптимізуючи енергоспоживання на основі накопиченої інформації про поведінку мешканців і зовнішні зміни.

До основних технологічних компонентів сучасних систем керування мікрокліматом належать високоточні сенсори температури й вологості, мікропроцесорні контролери, інтерфейси передачі даних, актуатори та програмне забезпечення для обробки, візуалізації і прогнозування даних. Структура побудови такої системи має бути максимально гнучкою для забезпечення масштабованості та інтеграції нових елементів у міру розвитку технологій.

Вибір сенсорів має суттєве значення для точності та стабільності роботи системи. Вимоги до датчиків температури передбачають широкий робочий діапазон, мінімальну похибку, стійкість до механічних впливів та електромагнітних завад. Сенсори вологості повинні забезпечувати високу чутливість до змін рівня вологості, швидку реакцію та довготривалу стабільність роботи без потреби в регулярному калібруванні.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

На сьогодні основними технологіями, що використовуються у сенсорах температури, є терморезистори, термістори, напівпровідникові елементи та цифрові мікросхеми із вбудованим інтерфейсом передачі даних. Щодо сенсорів вологості, то найбільш поширеними є ємнісні та резистивні датчики, які відрізняються за принципом роботи, точністю та умовами експлуатації.

Терморезистори забезпечують надзвичайно високу точність вимірювання температури, однак вимагають складнішого підключення та обробки сигналу. Термістори мають вищу чутливість до змін температури, проте обмежені у робочому діапазоні температур. Напівпровідникові датчики температури є компромісним варіантом, що забезпечує достатню точність, простоту інтеграції та низьке енергоспоживання. У випадку сенсорів вологості, ємнісні елементи мають високу стабільність, широкий діапазон вимірювання та хорошу стійкість до впливу факторів довкілля, тоді як резистивні датчики є дешевшими, але менш точними й стабільними при довготривалому використанні.

Щоб забезпечити ефективну роботу системи контролю мікроклімату, важливо також правильно обрати мікропроцесорний контролер, який буде обробляти дані від сенсорів і керувати виконавчими механізмами. Найчастіше використовуються 32-бітні мікроконтролери із вбудованими модулями бездротового зв'язку, достатнім обсягом пам'яті для зберігання алгоритмів і даних, а також можливістю гнучкої роботи з сенсорними інтерфейсами.

На основі детального порівняння характеристик сучасних сенсорів і мікропроцесорних платформ можна зробити висновок, що найбільш перспективним напрямком є використання інтегрованих цифрових сенсорів із прямим підключенням до контролера через інтерфейси I²C або SPI. Це забезпечує мінімізацію похибок вимірювання, зменшує складність монтажу та покращує швидкодію системи в цілому. У таблиці 1.1 наведено характеристики основних типів сенсорів, що використовуються у розробці системи контролю температури та вологості "розумного будинку".

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Одним із основних критеріїв є технологія вимірювання температури та вологості. За цим параметром сенсори поділяються на термічні, ємнісні, резистивні та напівпровідникові. Сенсори температури можуть базуватися на зміні електричного опору в залежності від температури (терморезистори та термістори), на генерації напруги у відповідь на зміну температури (термопари) або на спеціалізованих напівпровідникових елементах з інтегрованими схемами обробки сигналу. У випадку контролю вологості найбільш поширеними є ємнісні датчики, які вимірюють зміни діелектричної проникності середовища, та резистивні, що реєструють зміни опору в результаті адсорбції водяної пари.

Ще одним важливим параметром класифікації є спектр робочих умов сенсорів. В умовах розумного будинку сенсори мають працювати у широкому діапазоні температур та вологості, бути стійкими до пилу, конденсату, механічних коливань і електромагнітних перешкод. Тому пріоритет надається компактним цифровим сенсорам із захисними оболонками, які мінімізують ризик деградації чутливих елементів і забезпечують довготривалу стабільність показників.

З конструктивної точки зору сенсори мікроклімату поділяються на вбудовані та зовнішні модулі. Вбудовані сенсори інтегруються безпосередньо у корпус кліматичних пристроїв або елементи інтер'єру, що дозволяє приховати їх від користувача та захистити від механічних пошкоджень. Зовнішні сенсорні блоки встановлюються на відкритих ділянках приміщень для забезпечення вищої точності вимірювання за рахунок зменшення впливу локальних джерел тепла чи холоду.

Щодо способів інтеграції у систему, сенсори можуть бути автономними або частиною мережі IoT. Автономні сенсори зазвичай мають локальні контролери для попередньої обробки даних і працюють окремо від інших компонентів. Натомість мережеві сенсори підключаються до єдиної платформи керування розумним будинком, що дозволяє здійснювати централізовану

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

обробку інформації, формувати комплексні стратегії регулювання мікроклімату та реалізовувати алгоритми прогнозування змін середовища.

Основними перевагами застосування сучасних цифрових сенсорів температури та вологості в розумних будинках є їхня висока точність вимірювань, низьке енергоспоживання, можливість інтеграції в бездротові мережі та підтримка стандартних комунікаційних протоколів, таких як I²C, SPI, UART або LoRaWAN. Завдяки цим характеристикам мікропроцесорна система може оперативно реагувати на зміни умов середовища та забезпечувати оптимальне налаштування параметрів мікроклімату.

Окрему увагу слід приділити темі оптимізації тепловідведення у сенсорах, особливо в умовах інтенсивного використання в закритих приміщеннях. Перегрів сенсорів може викликати спотворення вимірювань, що в підсумку призведе до некоректної роботи всієї системи. Сучасні конструктивні рішення передбачають використання термостабілізованих корпусів з високою теплопровідністю та спеціальних схем компенсації температурних дрейфів.

Інтелектуальне керування даними сенсорів реалізується шляхом використання спеціалізованих алгоритмів обробки і прогнозування. Такі алгоритми включають фільтрацію шумів, компенсацію похибок, адаптивне середнє згладжування даних та визначення трендів зміни параметрів мікроклімату. На основі цих прогнозів система може приймати рішення про випереджальне регулювання температури або вологості, наприклад, завчасно вмикати кондиціонування або зволоження повітря перед очікуваними коливаннями зовнішніх умов.

У межах побудови сучасної мікропроцесорної системи контролю мікроклімату важливим аспектом є також забезпечення аварійних режимів роботи. У разі відмови основних джерел живлення або порушення комунікаційних каналів система має переходити у режим автономної підтримки базових параметрів мікроклімату на основі локальних даних сенсорів, з

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			13

мінімальним енергоспоживанням, забезпечуючи збереження комфортних умов для мешканців.

Комплексна інтеграція цифрових сенсорів у систему розумного будинку дозволяє забезпечити оптимальний баланс між комфортом, енергоефективністю та стабільністю роботи. Завдяки застосуванню інтелектуальних методів обробки даних та використанню надійних апаратних компонентів можна створити середовище, яке не лише реагує на зміни умов, а й самостійно прогнозує та адаптує мікроклімат до потреб мешканців, що є ключовою характеристикою сучасних кіберфізичних систем для управління середовищем у житлових приміщеннях.

Одним із базових параметрів, що характеризують якість роботи сенсорних систем у розумному будинку, є точність вимірювання фізичних величин, зокрема температури та вологості. Визначальним для аналізу ефективності системи є так званий "інформаційний потік", тобто обсяг достовірної інформації, що надходить від сенсорів у мікропроцесорний блок управління для подальшої обробки. Чим точнішими є ці дані, тим ефективніше система підтримує комфортний мікроклімат у приміщеннях при мінімальних енергетичних витратах.

Температурні сенсори вимірюють температуру довкілля й передають дані у вигляді аналогових або цифрових сигналів. Висока чутливість і стабільність вимірювання дозволяють точно регулювати роботу систем опалення та кондиціонування, запобігаючи різким коливанням температури. З іншого боку, сенсори вологості визначають кількість водяної пари в повітрі, що є критично важливим для підтримання здорового середовища проживання та запобігання утворенню конденсату або пересиханню повітря.

Важливим параметром роботи сенсорів є діапазон чутливості та точність при змінних умовах навколишнього середовища. Вибір сенсорів з оптимальним робочим діапазоном дозволяє системі точно працювати як у зимовий період при низьких температурах, так і влітку за високої вологості. Надійність і стабільність

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

сенсорних елементів суттєво впливають на довговічність усієї мікропроцесорної системи.

В системах контролю мікроклімату особливу увагу приділяють куту сприйняття сенсорів та їхньому розташуванню. Правильне встановлення дозволяє мінімізувати локальні впливи джерел тепла або холоду й забезпечити отримання середнього значення температури та вологості у приміщенні. Таким чином, ефективність роботи мікропроцесорної системи залежить не тільки від характеристик сенсорів, а й від якості їхнього монтажу та налаштування.

Належна робота сенсорних модулів потребує також стабільного та енергоефективного живлення. Звичайні схеми стабілізації напруги не завжди відповідають вимогам енергоощадності у розумних будинках, де важливо мінімізувати споживання навіть малопотужними пристроями. Саме тому у мікропроцесорних системах використовуються високоефективні стабілізатори та драйвери живлення, які забезпечують стабільну роботу сенсорів за мінімальних енергетичних витрат.

Основними технологічними рішеннями для живлення сенсорних систем є імпульсні стабілізатори, які забезпечують високий коефіцієнт корисної дії та здатність працювати у широкому діапазоні вхідних напруг. Завдяки цьому мікропроцесорна система залишається стабільною навіть у разі перепадів напруги в мережі або аварійних ситуацій.

Імпульсні драйвери також дозволяють легко інтегрувати систему в енергомережі розумного будинку, які можуть включати альтернативні джерела живлення, такі як сонячні панелі або акумуляторні блоки.

Правильний вибір і налаштування драйверів живлення є критичним фактором для забезпечення довговічності сенсорних пристроїв, стабільності зчитування даних і мінімізації ризиків помилкових спрацьовувань через енергетичні коливання.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Завдяки застосуванню сучасних схем живлення вдається підвищити енергоефективність системи на 10–15% у порівнянні з традиційними підходами, що має особливе значення в умовах розумного енергоспоживання.

З технічної точки зору інтеграція сенсорів у систему керування мікрокліматом передбачає використання мережевих інтерфейсів для передачі даних. Найбільш поширеними є I²C та SPI завдяки їхній простоті інтеграції, високій швидкості обміну інформацією та мінімальному енергоспоживанню. У випадках, коли потрібна віддалена передача даних, використовуються бездротові технології, такі як ZigBee, Wi-Fi або LoRaWAN, що дозволяють забезпечити гнучкість і масштабованість мережі сенсорів у межах великого будинку чи навіть комплексу будівель.

Окрім того, сучасні сенсорні системи оснащуються інтелектуальними алгоритмами самокорекції та самокалібрування, які дозволяють системі адаптуватися до змін середовища та забезпечувати стабільну якість вимірювань протягом тривалого періоду експлуатації без необхідності втручання з боку користувача або технічного персоналу.

У контексті енергоефективності важливою є також інтеграція прогнозних моделей, які дозволяють системі завчасно реагувати на зміну умов, наприклад, зниження температури перед наближенням холодного фронту або підвищення вологості перед дощем.

Завдяки використанню таких моделей мікропроцесорна система може оптимізувати роботу кліматичних установок, заощаджуючи електроенергію та підвищуючи комфорт мешканців.

Таким чином, сучасні мікропроцесорні системи контролю температури та вологості в розумних будинках є складними багатокomпонентними кіберфізичними структурами, що об'єднують високоточні сенсорні модулі, енергоефективні схеми живлення, адаптивні алгоритми обробки даних та інтегровані мережеві технології для забезпечення максимального комфорту,

енергоощадності й екологічної безпеки в умовах динамічно змінюваного середовища.

1.4 Висновки до першого розділу

У першому розділі кваліфікаційної роботи було здійснено комплексний аналіз сучасного стану сенсорних технологій та систем автоматизації, які застосовуються для контролю температури і вологості у розумних будинках. Проведено детальне дослідження різновидів сенсорних елементів за принципами їхньої роботи, конструктивними особливостями та експлуатаційними характеристиками, що дозволило визначити основні напрямки їхнього застосування у кіберфізичних системах керування мікрокліматом.

Особливу увагу приділено визначенню ключових технічних параметрів сенсорів, таких як точність вимірювання, робочий діапазон температур і вологості, стабільність вихідного сигналу та енергоефективність, оскільки саме ці характеристики визначають якість та надійність роботи всієї системи. Розглянуто особливості побудови схем електроживлення сенсорів і мікропроцесорних контролерів, де наголошено на необхідності використання імпульсних стабілізаторів для забезпечення стабільності роботи, мінімізації втрат енергії та продовження терміну експлуатації елементів системи.

Також було виконано класифікацію технологій підключення та передачі даних у межах систем розумного будинку, де відзначено важливість використання цифрових інтерфейсів і бездротових технологій для досягнення високого рівня гнучкості та масштабованості. Проведений аналіз дозволив встановити, що найбільш ефективною є комплексна інтеграція цифрових сенсорів із мікропроцесорними контролерами через енергоефективні канали зв'язку з використанням передових алгоритмів обробки та прогнозування даних.

Під час аналізу було встановлено, що досягнення оптимальної енергоефективності та високої стабільності роботи мікропроцесорної системи

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

можливе завдяки правильному підбору сенсорних елементів, раціональному їхньому розташуванню у приміщеннях, впровадженню систем резервного живлення та використанню інтелектуальних методів регулювання параметрів мікроклімату. З урахуванням сучасних тенденцій розвитку технологій та підвищення вимог до якості життя, доцільним є впровадження таких систем як базового компонента в архітектуру розумних будинків.

Таким чином, результати проведеного огляду і аналізу підтверджують актуальність використання мікропроцесорних систем контролю температури та вологості як ефективного засобу для створення комфортного, енергоефективного та безпечного середовища проживання в умовах сучасної кіберфізичної інфраструктури. Узагальнюючи результати аналізу, варто відзначити, що сучасні сенсорні технології для контролю температури та вологості демонструють значний потенціал для адаптації до різних архітектурних рішень розумних будинків. Зокрема, інтеграція багатофункціональних модулів із вбудованими алгоритмами калібрування дозволяє зменшити забруднення сигналу та підвищити точність вимірювань у динамічних умовах. Також слід відзначити швидкий розвиток бездротових протоколів останнього покоління (наприклад, Matter та Thread), які відкривають нові можливості для реалізації надійних мереж із низьким енергоспоживанням і високою безпекою передачі даних.

У підсумку, сучасні мікропроцесорні платформи, поєднані з удосконаленими сенсорами і передовими алгоритмами обробки даних, створюють підґрунтя для наступного покоління кіберфізичних систем управління мікрокліматом у розумних будинках. Ці системи не лише забезпечують оптимальні умови проживання, а й стають невід'ємною частиною інтелектуальної інфраструктури, яка сприяє сталому розвитку та екологічній безпеці.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

2 ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ

2.1 Проектування структурної схеми контролю мікроклімату

Процес розробки та проектування структурної схеми сучасної мікропроцесорної системи контролю температури та вологості у розумному будинку є надзвичайно складним і багаторівневим етапом, що має вирішальне значення для створення надійної, енергоефективної та інтелектуальної кіберфізичної інфраструктури. Він передбачає не лише правильний вибір технічних компонентів системи, а й глибоке розуміння фізичних процесів, що відбуваються у середовищі, яке необхідно контролювати. Важливим аспектом є врахування особливостей приміщення, розподілу теплових зон, ступеня природної вентиляції, зовнішніх кліматичних впливів і характеру використання будівлі, що дозволяє створити адаптивну систему, здатну ефективно реагувати на динамічні зміни умов.

Усі сучасні системи автоматизованого контролю мікроклімату класифікуються за кількома основними критеріями: за способом керування (централізовані або децентралізовані), типом мережевої організації (дротові чи бездротові системи), рівнем інтелектуалізації (з простими алгоритмами реагування або з елементами машинного навчання) та способом збору даних (безперервний або періодичний моніторинг). Такий поділ дозволяє проектувальникам обирати найбільш ефективну конфігурацію залежно від вимог об'єкта, його площі, кількості житлових зон і характеру використання приміщень. Наприклад, для невеликого приватного будинку може бути достатньою система з локальним керуванням мікрокліматом у кожній кімнаті, тоді як для великих житлових комплексів доцільним є впровадження багаторівневої централізованої структури з єдиним сервером обробки даних.

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			19

Однією з найбільш важливих категорій в архітектурі системи є розподіл приміщень на функціональні зони з окремими кліматичними профілями. Житлові кімнати, кухні, ванні, підвали та горища мають різні вимоги до температури та вологості, що вимагає гнучкого підходу до вибору сенсорів, виконавчих механізмів і стратегій керування для кожної окремої зони. Правильна сегментація дозволяє підвищити ефективність системи, зменшити споживання енергії та забезпечити індивідуальний комфорт для мешканців.

Для кожної функціональної зони проектується індивідуальна структурна схема, яка включає сенсорні модулі, мікропроцесорні контролери, виконавчі пристрої (засувки вентиляції, системи опалення, кондиціонування, зволожувачі) та комунікаційні елементи для передачі даних до центрального сервера або хмарного сервісу. Кожен сенсор у системі виконує свою чітко визначену роль, передаючи високоточні дані про стан середовища, на основі яких система формує керуючі команди для підтримки заданих параметрів мікроклімату.

Особливу увагу при проектуванні необхідно приділяти оптимізації енергоспоживання системи. Використання енергоощадних сенсорів, сплячих режимів для мікроконтролерів та алгоритмів енергетичної оптимізації дозволяє суттєво знизити загальні витрати на експлуатацію та забезпечити тривалий автономний режим роботи у випадку використання акумуляторних джерел живлення або альтернативних систем енергопостачання.

Проектування системи також передбачає врахування особливостей обробки та зберігання даних. Використання локальних серверів або хмарних платформ дозволяє реалізувати можливість довготривалого збереження історичних даних про параметри мікроклімату, що надалі дає змогу виконувати аналіз трендів, будувати прогностичні моделі та адаптувати роботу системи під змінні умови. У великих будинках або житлових комплексах доцільно впроваджувати багаторівневу архітектуру збору даних, де локальні контролери виконують попередню обробку сигналів і передають на сервер тільки релевантну інформацію.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Ключову роль у побудові сучасної мікропроцесорної системи контролю відіграють високотехнологічні сенсорні модулі, здатні передавати дані у реальному часі, а також контролери з можливістю реалізації складних алгоритмів адаптивного керування. Завдяки цьому система здатна не лише реагувати на поточні зміни температури і вологості, а й прогнозувати майбутні коливання на основі історичних даних та зовнішніх джерел інформації, наприклад, метеорологічних сервісів.

Сучасні системи також широко інтегрують інтернет речей (IoT), що дозволяє забезпечити віддалене моніторинг і керування системою через мобільні додатки або веб-платформи. Це надає користувачам можливість контролювати стан мікроклімату з будь-якої точки світу, оперативно реагувати на нештатні ситуації та гнучко налаштовувати сценарії роботи системи залежно від власних потреб та побажань.

Структура побудови системи контролю мікроклімату базується на використанні модульного принципу, що дозволяє легко масштабувати систему відповідно до змін кількості приміщень, їхнього функціонального призначення або рівня автоматизації. Завдяки цьому розумний будинок залишається адаптивним до змін, що виникають у процесі його експлуатації, та здатним до подальшого розвитку без потреби у повній реконструкції системи керування.

Таким чином, грамотне проектування структурної схеми мікропроцесорної системи контролю температури та вологості є основою для створення енергоефективного, стабільного та інтелектуального середовища проживання, що відповідає сучасним вимогам якості життя, сталого розвитку та раціонального використання енергоресурсів.

У проектуванні мікропроцесорної системи контролю температури та вологості особливе місце посідають численні сенсори, які забезпечують високий рівень автоматизації, адаптивності та чутливості системи до змін навколишнього середовища. Сенсори температури постійно фіксують показники теплового режиму у приміщеннях і дозволяють мікропроцесорній системі оперативно

реагувати на навіть незначні коливання температури, підтримуючи її в оптимальному діапазоні для комфорту мешканців. Сенсори вологості, у свою чергу, аналізують вміст водяної пари у повітрі та дозволяють контролювати рівень вологості в різних приміщеннях, що особливо важливо для збереження здорового мікроклімату та профілактики утворення конденсату й цвілі.

Додатково до основних сенсорів у систему інтегруються датчики присутності та руху, які визначають наявність людей у приміщеннях. Завдяки цьому система може автоматично знижувати або підвищувати інтенсивність роботи кліматичного обладнання залежно від фактичної активності в кожній зоні будинку, що сприяє зменшенню енергоспоживання в моменти відсутності людей. Окреме значення має встановлення зовнішніх сенсорів температури та вологості, які дозволяють враховувати вплив зовнішніх кліматичних умов і завчасно готувати систему до змін погоди, запобігаючи небажаним стрибкам температури всередині будинку.

Усі ці компоненти об'єднуються в єдину інформаційно-керовану мережу, що працює відповідно до заздалегідь визначених сценаріїв або динамічно адаптується до змін довкілля в реальному часі. Завдяки цій інтеграції система здатна забезпечити стабільний комфорт у всіх приміщеннях, суттєво зменшити споживання енергії, продовжити термін служби кліматичних пристроїв і підвищити загальний рівень автономності розумного будинку.

Особливої уваги під час проектування потребує побудова модульної структури мікропроцесорної системи, що дозволяє створювати гнучкі, масштабовані рішення для великих приватних будинків, багатопверхових комплексів або об'єктів змішаного використання. Відповідно до цього принципу всі контрольовані приміщення та зони поділяються на окремі сектори, кожен з яких може мати свої власні режими підтримання мікроклімату залежно від функціонального призначення, часу доби, рівня активності користувачів та інших факторів.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Наприклад, одна зона може бути призначена для спалень, де потрібно підтримувати стабільну температуру протягом усього часу з мінімальними коливаннями, інша – для кухні, де допускаються короточасні підвищення температури через роботу побутової техніки, а ще одна – для підвалу або комори, де важливіший стабільний рівень вологості для збереження продуктів або матеріалів. Такий зональний підхід дозволяє налаштувати систему максимально точно під потреби користувачів та особливості конкретних приміщень.

Модульна архітектура дає змогу оперативно змінювати налаштування роботи системи залежно від сезонних змін, змін кількості мешканців або особливих подій, наприклад, під час тривалих відпусток або святкових періодів. Окрім того, така структура дозволяє легко розширювати або модернізувати систему у майбутньому, додаючи нові зони контролю або інтегруючи нові типи сенсорів без потреби у глобальній перебудові всієї системи.

Проектування системи також обов'язково враховує чинні нормативи та рекомендації щодо параметрів мікроклімату, зокрема норми температури та вологості для житлових приміщень, що визначені документами типу "ДБН В.2.5-67:2013" або рекомендаціями міжнародних організацій з енергоефективності та здоров'я будівель. Дотримання таких стандартів гарантує комфортне та безпечне проживання користувачів, а також оптимальне функціонування кліматичних систем у довгостроковій перспективі.

Структурна схема системи контролю мікроклімату зазвичай передбачає поділ на три основні функціональні зони. Перша зона охоплює приміщення з постійним перебуванням людей, такі як вітальні, робочі кабінети та спальні, де необхідне стабільне підтримання комфортної температури та вологості без значних коливань. Друга зона включає допоміжні приміщення, такі як коридори, ванні кімнати, кухні, де допустимі короточасні коливання параметрів при збереженні загального рівня комфорту. Третя зона призначена для підсобних або технічних приміщень, де основна задача полягає у мінімізації енергоспоживання

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

за рахунок застосування адаптивних режимів роботи обладнання, яке активується лише за необхідності.

Особливо у великих будинках важливе зональне керування, яке дозволяє не тільки оптимізувати енерговитрати, але й створити індивідуальні мікрокліматичні профілі для кожного приміщення. Завдяки цьому можна забезпечити, наприклад, більш прохолодне повітря в спальнях для кращого сну або підвищену вологість у дитячих кімнатах для профілактики пересушування слизових оболонок.

Інтеграція датчиків освітленості також відіграє допоміжну роль у мікрокліматичних системах, дозволяючи коригувати режими роботи вентиляції та кондиціонування залежно від кількості сонячного тепла, яке надходить через вікна. Система автоматично знижує навантаження на охолодження у похмурі дні або навпаки оптимізує роботу обігріву у випадках зниження інсоляції.

У результаті проєктована мікропроцесорна система контролю температури та вологості забезпечує комплексне управління мікрокліматом, яке адаптується до реальних умов навколишнього середовища та потреб користувачів. Вона сприяє підвищенню енергоефективності будинку, зниженню експлуатаційних витрат і створенню максимально комфортного та здорового середовища для проживання. Завдяки впровадженню сучасних технологій та інтелектуальних алгоритмів система стає невід'ємною складовою концепції розумного будинку майбутнього, що відповідає високим вимогам сталого розвитку та екологічної відповідальності.

Надзвичайно важливим аспектом сучасних систем контролю мікроклімату є їхня здатність до самодіагностики та прогнозування потенційних несправностей обладнання. Інтелектуальні алгоритми аналізу даних дозволяють системі безперервно моніторити стан кожного компонента, виявляти відхилення від нормальних робочих параметрів і попереджувати користувачів про необхідність технічного обслуговування задовго до виникнення критичних поломок. Така превентивна діагностика значно продовжує термін служби

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			24

обладнання, зменшує ризики аварійних ситуацій і забезпечує стабільну роботу всієї кліматичної системи протягом багатьох років експлуатації.

Система збирає і аналізує величезні масиви даних про роботу кожного сенсора, виконавчого механізму та комунікаційного модуля, використовуючи методи машинного навчання для виявлення закономірностей і аномалій у поведінці обладнання. Наприклад, поступове зниження точності показань температурного сенсора або збільшення часу відгуку виконавчого механізму можуть свідчити про необхідність калібрування або заміни компонентів. Завдяки цьому підходу система здатна автоматично компенсувати незначні відхилення в роботі обладнання, підтримуючи високу якість контролю мікроклімату навіть при поступовому зношуванні окремих компонентів.

Особливе значення має розробка алгоритмів енергетичної оптимізації, які враховують не лише поточні потреби у підтриманні комфортних умов, але й динаміку зміни зовнішніх кліматичних факторів, тарифи на електроенергію у різні періоди доби та прогнозні дані про використання приміщень. Система може автоматично переходити на економічні режими роботи у нічний час або періоди відсутності мешканців, заздалегідь підготувати приміщення до повернення користувачів і оптимально розподіляти навантаження між різними кліматичними пристроями для мінімізації пікового споживання електроенергії.

Інтеграція з системами розумного будинку відкриває додаткові можливості для комплексної оптимізації енергоспоживання через координацію роботи кліматичного обладнання з іншими інженерними системами будівлі. Наприклад, система може враховувати тепловиділення від освітлювального обладнання, побутової техніки або системи гарячого водопостачання при розрахунку необхідної потужності опалення або кондиціонування. Така інтеграція дозволяє досягти синергетичного ефекту в управлінні всіма системами будинку, забезпечуючи максимальну енергоефективність при збереженні високого рівня комфорту.

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			25

Сучасні мікропроцесорні системи також активно використовують технології штучного інтелекту для створення персоналізованих профілів комфорту для кожного мешканця будинку. Система вивчає поведінкові патерни користувачів, їхні переваги щодо температурного режиму у різні періоди доби та сезони року, реакцію на зміни погодних умов і автоматично адаптує параметри мікроклімату відповідно до індивідуальних потреб. Це досягається через аналіз даних про ручні корекції налаштувань, частоту використання різних приміщень, фізіологічні показники комфорту та інші фактори, що характеризують індивідуальні переваги кожного користувача.

Безпека та кібербезпека мікропроцесорних систем контролю мікроклімату набувають особливої актуальності у зв'язку з їхньою інтеграцією в мережі Інтернету речей та можливістю віддаленого керування. Система повинна мати багаторівневу архітектуру захисту даних, включаючи шифрування каналів зв'язку, автентифікацію користувачів, регулярне оновлення програмного забезпечення та моніторинг підозрілої активності в мережі. Особливу увагу приділяють захисту персональних даних користувачів, які можуть включати інформацію про режим життя, присутність у будинку та інші приватні відомості.

Локальні системи резервування даних та автономні режими роботи забезпечують стабільність функціонування системи навіть у випадку тимчасової втрати зв'язку з хмарними сервісами або центральними серверами. Мікропроцесорні контролери мають достатню обчислювальну потужність для самостійного прийняття рішень на основі попередньо завантажених алгоритмів і локально збережених даних про оптимальні режими роботи для різних сценаріїв. Така архітектура гарантує безперервність контролю мікроклімату навіть в умовах нестабільного інтернет-з'єднання або технічних проблем з віддаленими серверами.

Технічне обслуговування та калібрування сенсорних модулів відіграють критично важливу роль у забезпеченні довготривалої точності та надійності системи. Автоматизовані процедури самокалібрування дозволяють сенсорам

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

підтримувати високу точність вимірювань протягом тривалого періоду експлуатації, але періодичне професійне обслуговування залишається необхідним для перевірки еталонних показників та заміни компонентів, що зношуються. Система може автоматично складати графіки технічного обслуговування на основі фактичного навантаження на обладнання, умов експлуатації та рекомендацій виробників.

Розвиток технологій бездротового зв'язку відкриває нові можливості для створення більш гнучких та масштабованих систем контролю мікроклімату. Використання протоколів зв'язку з низьким енергоспоживанням, таких як Zigbee, LoRaWAN або Thread, дозволяє створювати розгалужені мережі сенсорів з тривалим терміном роботи від батарей та високою надійністю передачі даних. Mesh-топологія мережі забезпечує резервування каналів зв'язку та автоматичне перемаршрутування даних у випадку виходу з ладу окремих вузлів зв'язку.

Інтеграція систем контролю мікроклімату з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі або вітрогенератори, створює додаткові можливості для оптимізації енергоспоживання та зниження експлуатаційних витрат. Система може автоматично підлаштовувати інтенсивність роботи кліматичного обладнання залежно від поточної генерації відновлюваної енергії, максимально використовуючи "зелену" електроенергію для підтримання комфортних умов. У періоди надлишкової генерації система може працювати в режимі попереднього охолодження або обігріву приміщень, створюючи тепловий або холодний резерв для подальшого використання.

Аналітичні можливості сучасних мікропроцесорних систем дозволяють проводити глибокий аналіз ефективності різних стратегій управління мікрокліматом, порівнювати енергоспоживання в різні періоди, оцінювати вплив зовнішніх факторів на роботу системи та оптимізувати налаштування для досягнення максимальної ефективності. Детальна аналітика дає можливість користувачам отримувати рекомендації щодо поліпшення енергоефективності

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

будинку, наприклад, через покращення теплоізоляції, заміну вікон або модернізацію системи вентиляції.

Перспективи розвитку мікропроцесорних систем контролю мікроклімату тісно пов'язані з загальними тенденціями розвитку технологій розумного дому та Інтернету речей. Впровадження технологій доповненої реальності може дозволити користувачам візуалізувати розподіл температури та вологості в приміщеннях у реальному часі, а використання голосових асистентів і жестового керування зробить взаємодію з системою ще більш інтуїтивною та зручною. Розвиток квантових обчислень може відкрити нові можливості для обробки великих масивів кліматичних даних та створення більш точних прогностичних моделей.

Економічна ефективність впровадження мікропроцесорних систем контролю температури та вологості проявляється не лише у зниженні поточних витрат на енергоносії, але й у підвищенні ринкової вартості нерухомості, поліпшенні якості життя мешканців та зменшенні впливу на навколишнє середовище. Інвестиції в такі системи окупаються протягом декількох років експлуатації за рахунок економії енергоресурсів, зниження витрат на ремонт та обслуговування традиційного кліматичного обладнання, а також підвищення загального рівня комфорту та безпеки проживання. Розумні системи контролю мікроклімату стають не просто технологічним рішенням, а важливим елементом сучасного способу життя, що відповідає принципам сталого розвитку та відповідального ставлення до природних ресурсів.

2.2 Вибір компонентів для реалізації мікропроцесорної системи контролю температури та вологості

Під час проектування мікропроцесорної системи контролю температури та вологості в розумному будинку особливу увагу слід приділити вибору оптимальних компонентів, що забезпечать надійну, енергоефективну і стабільну

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

роботу всієї системи відповідно до технічних, експлуатаційних і економічних вимог. Підбір елементної бази має відповідати цілям забезпечення високої точності вимірювання параметрів мікроклімату, мінімізації споживання енергії та забезпечення довготривалої безперервної роботи у широкому діапазоні температур і вологості.

Сучасні тенденції розвитку технологій розумного будинку вимагають інтеграції складних автоматизованих систем, які здатні не лише реагувати на поточні зміни параметрів навколишнього середовища, але й прогнозувати майбутні потреби мешканців. Це досягається завдяки впровадженню інтелектуальних алгоритмів машинного навчання, які аналізують історичні дані, поведінкові патерни користувачів та зовнішні метеорологічні умови для оптимізації роботи кліматичних систем.

Сенсорні технології та їх застосування являють собою фундаментальну основу будь-якої ефективної системи контролю мікроклімату в розумному будинку. В основі системи контролю температури знаходяться високоточні цифрові сенсори, що інтегруються у кожен зону приміщення. Для забезпечення надійного та стабільного збору даних обрано сенсори температури і вологості типу SHT31, що характеризуються широким діапазоном робочих температур від -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$, високою точністю вимірювання до $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ по температурі та $\pm 2\%$ по вологості. Важливою перевагою цього сенсора є вбудований інтерфейс I²C, що забезпечує простоту підключення до мікропроцесорного контролера і мінімальне енергоспоживання, що особливо важливо для систем, орієнтованих на тривалу автономну роботу.

Крім базових параметрів температури та вологості, сучасні системи розумного будинку потребують моніторингу додаткових факторів мікроклімату, які впливають на комфорт та здоров'я мешканців. До таких параметрів належать концентрація вуглекислого газу, рівень твердих частинок у повітрі, концентрація летючих органічних сполук та інші показники якості повітря. Інтеграція цих

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

сенсорів дозволяє створити всеосяжну картину стану внутрішнього середовища та забезпечити оптимальні умови для життєдіяльності.

Для зон з підвищеними вимогами до стабільності вологості, таких як ванні кімнати або приміщення для зберігання продуктів харчування, додатково використовується сенсор VME280, який окрім температури та вологості також вимірює атмосферний тиск. Це дозволяє розширити можливості аналізу мікроклімату та побудувати більш точні моделі прогнозування змін умов середовища. Моніторинг атмосферного тиску особливо важливий для людей з серцево-судинними захворюваннями та метеозалежністю, оскільки дозволяє заздалегідь підготувати приміщення до змін погодних умов.

Сучасні сенсорні мережі в розумному будинку також включають пристрої для вимірювання швидкості руху повітря, що критично важливо для оцінки ефективності вентиляційних систем. Анемометри інтегруються у воздуховоди та приміщення для контролю циркуляції повітря та виявлення застійних зон, де може накопичуватися вологість або забруднювачі. Ця інформація використовується для динамічного налаштування роботи вентиляційних систем та забезпечення рівномірного розподілу свіжого повітря по всіх приміщеннях.

Комунікаційні протоколи та передача даних визначають ефективність та надійність взаємодії між усіма компонентами розумного будинку. Передача даних між сенсорами та контролерами реалізується через локальну дротову мережу з використанням шини I²C, що забезпечує високу швидкість обміну при мінімальних затратах енергії. У випадках, коли необхідна більша гнучкість або передача даних на значні відстані, передбачається застосування бездротового протоколу ZigBee, який відрізняється низьким енергоспоживанням та високою стійкістю до перешкод.

Архітектура комунікаційної мережі в розумному будинку має бути спроектована з урахуванням масштабованості та надійності. Для цього застосовується гібридний підхід, який поєднує переваги різних протоколів передачі даних. Дротові з'єднання використовуються для критично важливих

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

вузлів системи, де потрібна максимальна стабільність та швидкість передачі даних. Бездротові протоколи застосовуються для мобільних датчиків, віддалених зон будинку та пристроїв, які важко підключити дротовим способом.

Протокол ZigBee забезпечує створення mesh-мережі, в якій кожен пристрій може виступати ретранслятором сигналу для інших вузлів. Це значно підвищує надійність системи та дозволяє покривати великі площі без втрати якості сигналу. Додатково, ZigBee підтримує автоматичне маршрутизування трафіку, що дозволяє системі самостійно адаптуватися до змін топології мережі, наприклад, при виході з ладу окремих вузлів або додаванні нових пристроїв.

Для інтеграції з хмарними сервісами та забезпечення віддаленого доступу до системи використовується протокол MQTT, який оптимізований для роботи з пристроями Інтернету речей. MQTT забезпечує ефективну передачу даних через інтернет з мінімальним навантаженням на мережу та підтримує різні рівні якості обслуговування для гарантованої доставки критично важливих повідомлень.

Мікропроцесорні контролери та обчислювальні платформи становлять інтелектуальний центр всієї системи автоматизації розумного будинку. Для обробки даних і керування виконавчими механізмами вибрано мікроконтролер ESP32, що має інтегровані модулі Wi-Fi та Bluetooth, велику кількість цифрових входів і виходів, достатню обчислювальну потужність для реалізації складних алгоритмів обробки даних, а також підтримку енергозберігаючих режимів роботи. ESP32 дозволяє не лише локально керувати мікрокліматичними параметрами, а й забезпечувати віддалений моніторинг і налаштування системи через мобільні або веб-застосунки.

Архітектура системи на базі ESP32 передбачає розподілену обробку даних, де кожен контролер відповідає за певну зону будинку та може працювати автономно навіть при втраті зв'язку з центральним сервером. Це забезпечує високу надійність системи та гарантує підтримання базових функцій життєзабезпечення навіть у випадку технічних несправностей.

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			31

Для складних обчислювальних завдань, таких як аналіз патернів споживання енергії, прогнозування потреб у опаленні або кондиціонуванні, та машинне навчання на основі історичних даних, система доповнюється потужнішими обчислювальними модулями на базі одноплатних комп'ютерів типу Raspberry Pi. Ці пристрої інтегруються в локальну мережу як централізовані сервери обробки даних та координації роботи всіх підсистем розумного будинку.

Гібридна архітектура дозволяє оптимально розподілити обчислювальне навантаження: простіші завдання виконуються локально на мікроконтролерах ESP32, а складні аналітичні операції передаються на потужніші обчислювальні вузли. Такий підхід забезпечує швидку реакцію на зміни в навколишньому середовищі та ефективне використання обчислювальних ресурсів.

Системи освітлення та їх вплив на мікроклімат відіграють ключову роль у створенні комфортного та енергоефективного середовища в розумному будинку. Для вимірювання рівня природного освітлення та його врахування в алгоритмах підтримання температурного балансу, наприклад, у зимовий або літній період, використовується давач освітленості BH1750, який забезпечує високу чутливість та широкий діапазон вимірювання освітленості від 1 до 65535 люкс. Це дозволяє системі враховувати тепловий ефект від сонячного випромінювання і відповідно коригувати роботу опалення або кондиціонування.

Інтеграція систем освітлення в загальну схему клімат-контролю відкриває нові можливості для оптимізації енергоспоживання та підвищення комфорту мешканців. Сучасні LED-освітлювальні системи генерують значно менше тепла порівняно з традиційними лампами розжарювання, що дозволяє точніше прогнозувати теплові навантаження в приміщеннях та відповідно налаштувати роботу систем терморегуляції.

Для забезпечення ефективної роботи мікропроцесорної системи контролю температури та вологості необхідним є впровадження надійних сенсорних елементів та компонентів живлення, що забезпечують високу точність вимірювань і стабільність роботи в різних умовах експлуатації. Одним із

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

навантаження навіть при змінних зовнішніх умовах. Для реалізації керування елементами системи обрано драйвер типу MBI6651, який є понижувальним імпульсним стабілізатором струму спеціально розробленим для живлення енергозберігаючих компонентів. Його головною перевагою є здатність підтримувати постійний струм до одного ампера при живленні від стандартної електромережі 220 В з мінімальними енергетичними втратами.

Принцип роботи драйвера MBI6651 базується на широтно-імпульсній модуляції з гістерезисом, що дозволяє досягати коефіцієнта корисної дії до 96%, що є надзвичайно високим показником у галузі живлення електронних систем. Це забезпечує не лише мінімізацію втрат енергії, але й зменшення тепловиділення під час тривалої роботи, що критично важливо для підвищення загальної надійності та тривалості експлуатації пристроїв у розумному будинку.

Сучасні системи енергоменеджменту в розумному будинку інтегруються з альтернативними джерелами енергії, такими як сонячні панелі, вітрогенератори та геотермальні системи. Це дозволяє значно знизити залежність від централізованого електропостачання та зменшити екологічний слід будівлі. Система керування енергією автоматично перемикається між різними джерелами живлення залежно від їх доступності та вартості електроенергії в конкретний момент часу.

Регулювання вихідного струму драйвера здійснюється через підбір зовнішнього резистора, а також за допомогою широтно-імпульсної модуляції керуючого сигналу, що дозволяє реалізувати гнучке налаштування рівня живлення для різних пристроїв залежно від актуальних потреб системи. Це особливо важливо для плавного регулювання потужності вентиляційних пристроїв, насосів систем зволоження чи підігріву повітря.

Виконавчі механізми та автоматизація представляють собою фінальну ланку в ланцюгу управління мікрокліматом розумного будинку, що забезпечує практичну реалізацію всіх розрахунків та рішень системи. На рівні виконавчих механізмів для регулювання мікроклімату застосовуються електронні клапани

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

для систем вентиляції, реле для керування опалювальними елементами, а також регулятори живлення з можливістю плавної зміни потужності для підтримання стабільної температури без різких коливань. Для зволожувачів і осушувачів передбачено використання модулів плавного запуску і контролю рівня води для забезпечення безпечної та безперебійної роботи.

Інтеграція розумних виконавчих механізмів дозволяє реалізувати прецизійне керування мікрокліматом з урахуванням індивідуальних потреб кожного приміщення. Система здатна автоматично адаптуватися до змін у використанні приміщень, наприклад, знижувати температуру в кімнатах, де тривалий час немає людей, або підвищувати інтенсивність вентиляції перед приходом мешканців додому.

Сучасні електронні клапани оснащуються позиційними енкодерами, які забезпечують точний контроль ступеня відкриття та дозволяють реалізувати складні алгоритми регулювання повітряних потоків. Це особливо важливо для балансування вентиляційних систем у багатозонних будинках, де потрібно забезпечити оптимальний розподіл свіжого повітря між різними приміщеннями.

Драйвер МВІ6651 має вбудовану систему плавного запуску, яка запобігає утворенню стрибків пускового струму при вмиканні живлення, що позитивно впливає на довговічність як самого драйвера, так і підключених пристроїв. Також інтегровано захист від перегріву, короткого замикання, розриву навантаження та зниження вхідної напруги нижче допустимого рівня, що робить його надзвичайно надійним вибором для побудови безпечної системи керування мікрокліматом.

Перспективи розвитку та модульність системи визначають її довгострокову життєздатність та здатність адаптуватися до майбутніх технологічних викликів і потреб користувачів. Загальна структура системи передбачає можливість модульного розширення, що дозволяє у майбутньому інтегрувати нові типи сенсорів, наприклад, газоаналізатори CO₂ для контролю якості повітря, або сенсори вібрацій і шуму для моніторингу додаткових

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			35

параметрів комфорту. Модульна архітектура забезпечує легку модернізацію системи без необхідності повної заміни існуючого обладнання.

Конструктивно мікросхема драйвера MBI6651 пропонується у кількох варіантах корпусів, таких як TO-252-5L, SOT-23-6L та IUCN-8L, що забезпечує гнучкість у виборі рішення залежно від просторових обмежень на друкованій платі або вимог до системи тепловідведення. Завдяки цьому драйвер може бути інтегрований як у компактні сенсорні модулі, так і у більш складні багатофункціональні контролерні вузли розумного будинку.

Майбутні розробки в галузі розумного будинку спрямовані на інтеграцію штучного інтелекту та машинного навчання для створення по-справжньому адаптивних систем, які здатні передбачати потреби мешканців та оптимізувати роботу всіх інженерних систем. Це включає аналіз патернів поведінки, прогнозування погодних умов, оптимізацію енергоспоживання та забезпечення максимального комфорту при мінімальних витратах ресурсів.

Таким чином, поєднання високоточних сенсорів освітлення, надійних драйверів живлення і мікропроцесорних контролерів забезпечує побудову стабільної, енергоефективної і адаптивної системи контролю мікроклімату, яка відповідає сучасним вимогам до енергозбереження, автоматизації та комфорту в умовах експлуатації розумного будинку.

Правильний вибір апаратної бази є критично важливим етапом у створенні ефективної, стабільної та довговічної мікропроцесорної системи контролю температури та вологості для розумного будинку.

Комплексне використання сучасних сенсорних технологій, енергоефективних мікроконтролерів та інтелектуальних алгоритмів керування дає змогу досягти високого рівня автоматизації, мінімізувати витрати на обслуговування та забезпечити стабільний комфорт для мешканців незалежно від змін у навколишньому середовищі.

2.3 Обґрунтування вибору датчика температури та вологості

При розробці мікропроцесорної системи контролю температури та вологості особливу увагу слід приділяти вибору сенсорного елемента, здатного забезпечити високу точність вимірювання, стабільність показів за різних умов експлуатації та мінімальне енергоспоживання. Серед численних доступних на ринку датчиків саме SHT31 від компанії Sensirion було обрано як оптимальне рішення завдяки його комплексу технічних характеристик та функціональних можливостей. Поєднання цифрового інтерфейсу I²C, вбудованої калібровки та здатності працювати в широкому діапазоні температур від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ з високою роздільною здатністю робить його надзвичайно універсальним для застосування як у побутовій, так і в промисловій автоматизації кліматичних процесів.

У порівнянні з аналоговими датчиками SHT31 не потребує додаткових схем компенсування похибок та фільтрації шумів, оскільки всі коригуючі коефіцієнти зберігаються у заводській пам'яті кристала. Це значно спрощує апаратну частину та зменшує витрати енергії на обробку сигналів, оскільки мікроконтролер отримує вже готові цифрові дані без необхідності виконувати ресурсомісткі обчислення. Завдяки вбудованому механізму самокалібрування датчик підтримує стабільність показів протягом усього строку експлуатації, а наявність захисту від впливу високої вологості та температурних шоків забезпечує надійність у різних кліматичних зонах.

Особливо важливою перевагою SHT31 є його енергоефективність: у режимі активного вимірювання датчик споживає менш ніж 500 мкА, а в режимі очікування – до 2 мкА. Це дає змогу інтегрувати його в автономні системи з живленням від акумуляторів або сонячних панелей, продовжуючи період безперервної роботи до декількох місяців без підзарядки. Висока швидкість оновлення даних – до 1 разу на секунду – дозволяє реалізувати адаптивні

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

алгоритми, які гарантують підтримання комфортних умов у реальному часі, реагуючи на найменші коливання зовнішніх чи внутрішніх факторів.

Ще однією визначальною характеристикою є висока точність вимірювань: до $\pm 0,3$ °C по температурі та ± 2 % RH по вологості. Це дозволяє реалізувати тонке коригування режимів опалення, кондиціонування та зволоження повітря, що особливо важливо у приміщеннях з підвищеними вимогами до мікроклімату, наприклад дитячих кімнатах, медичних кабінетах чи лабораторіях. Вбудована захищена конструкція кристала забезпечує стійкість до агресивних середовищ та промислових забруднень, тому датчик може використовуватися як у житлових приміщеннях, так і на виробничих об'єктах без суттєвих змін у схемотехніці.

На рисунку 2.1 наведено функціональну блок-схему датчика SHT31, де чітко видно основні вузли: сенсорний елемент, аналогово-цифровий перетворювач, цифровий блок обробки даних та інтерфейс I²C зі схемами підтягуючих резисторів. Така інтеграція всіх необхідних компонентів у єдиному корпусі дозволяє мати компактний модуль розміром близько 3×5 мм, що легко монтується на будь-яку плату і знижує індуктивні та ємнісні перешкоди, призначення виводів модуля приведено в таблиці 2.4.

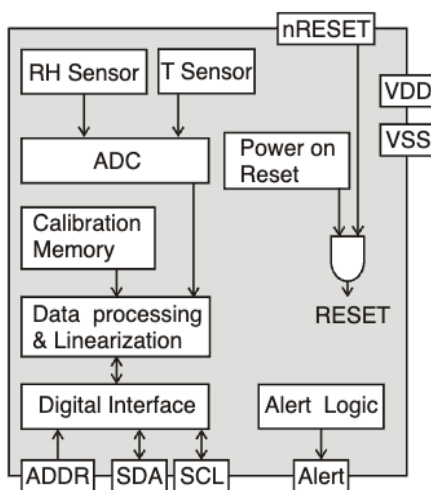


Рисунок 2.1 – Функціональна блок-схема датчика SHT31

Датчик SHT31 має шість контактів, кожен з яких виконує свою специфічну роль у забезпеченні коректної роботи та обміну даними. Контакт GND відповідає за створення загального земляного потенціалу для всіх внутрішніх ланцюгів мікросхеми та зовнішніх компонентів системи: саме через цей вивід повертається струм живлення, що запобігає розбіжності в рівнях напруг і захищає від електричних перешкод. Лінія VDD служить основним джерелом живлення – перепади напруги в діапазоні від 2,4 до 5,5 В живлять як цифрові, так і аналогові блоки датчика, забезпечуючи сталу точність вимірювань; нестабільність на цьому виводі може призвести до зниження чіткості сигналу або навіть виходу датчика з ладу. Для комунікації з зовнішнім контролером у SHT31 використовується шина I²C, де сигнал SCL задає тактування обміну – імпульси на цій доріжці синхронізують читання і передачу інформації, що особливо важливо, оскільки коливання частоти тактових імпульсів можуть спричинити помилки під час зчитування показників температури та вологості. Лінія SDA, у свою чергу, відповідає за двонаправлену передачу даних по I²C: під час читання на неї виводяться біти виміряних величин, а під час запису – подаються команди налаштування або запитів до датчика; специфічна організація цієї доріжки (відкритий стік з підтягуванням) запобігає конфліктам між пристроями, які можуть одночасно подавати сигнали. Вивід ADDR полегшує роботу в багатодатчикових мережах: під'єднання до VDD чи GND через резистор змінює внутрішню адресу мікросхеми, що дозволяє встановити один з двох фіксованих кодів I²C-адреси без додаткових компонентів і уникнути конфліктів при адресації. Нарешті, контакт NC (No Connection) не має жодного внутрішнього з'єднання й існує виключно для механічної стабілізації плати – його залишають вільним, щоб забезпечити надійність монтажу та запобігти випадковому підключенню зайвих дротів чи компонентів. У сукупності ці виводи гарантують стабільне живлення, точну синхронізацію обміну та зручну інтеграцію SHT31 у будь-яку I²C-мережу.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Застосування SHT31 забезпечує максимальну універсальність та простоту інтеграції у мікропроцесорну систему контролю мікроклімату розумного будинку. Завдяки своїм характеристикам цей датчик є ідеальним вибором для побудови надійних, енергоощадних та точних систем моніторингу температури і вологості в різноманітних умовах експлуатації. Використання мікроконтролера ESP32 для реалізації мікропроцесорної системи контролю температури та вологості в розумному будинку обґрунтовується його унікальним поєднанням високої обчислювальної потужності, багатства комунікаційних можливостей та енергоефективності. ESP32 оснащений двоядерним процесором із частотою до 240 МГц, що дозволяє одночасно опрацьовувати покази кількох сенсорів, виконувати складні алгоритми фільтрації та прогнозування мікрокліматичних параметрів, а також підтримувати роботу додаткових модулів штучного інтелекту для самонавчання системи. Завдяки вбудованим модулям Wi-Fi і Bluetooth контролер легко інтегрується у домашню мережу, забезпечуючи віддалений моніторинг та керування через мобільний додаток або веб-інтерфейс.

ESP32 має широкі можливості для розширення апаратної частини: він підтримує до шести каналів АЦП та до дванадцяти цифрових входів-виходів, що дозволяє підключати одночасно декілька датчиків температури, вологості, тиску і датчиків руху чи освітленості. Наявність апаратного інтерфейсу I²C, SPI та UART дає змогу просто реалізувати обмін даними з цифровими сенсорами SHT31, BME280 чи BH1750, а також з зовнішніми модулями зберігання історії вимірювань або з датчиками CO₂. Для живлення в автономному режимі ESP32 споживає в режимі глибокого сну менше ніж 10 мкА, що робить його ідеальним рішенням для систем, які працюють від акумуляторних або сонячних джерел.

Вбудований годинник реального часу з підтримкою календаря дозволяє реалізувати керування мікрокліматом за графіком, враховуючи час доби чи дату, щоб досягати максимального комфорту та економії енергії. Крім того, на ESP32 можна зберігати до сотні змінних у внутрішній флеш-пам'яті або зовнішній SD-карті для аналізу трендів та прогнозування навантаження. Для зручності

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			40

налагодження та відображення статусу системи мікроконтролер підтримує підключення невеликих OLED-дисплеїв через SPI або I²C, а безпосередня налаштування та оновлення прошивки здійснюються за допомогою USB-інтерфейсу.

Таким чином, ESP32 забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності, комунікаційних можливостей і енергоефективності. Його гнучка архітектура і багатий набір периферійних інтерфейсів дозволяють створити єдину модульну платформу для контролю температури, вологості та інших параметрів мікроклімату, яка легко масштабується і адаптується до зростання вимог розумного будинку.

Вибір центрального процесорного модуля для системи контролю температури та вологості у розумному будинку ґрунтується на необхідності поєднати високу обчислювальну потужність із широкими комунікаційними можливостями й енергоефективністю. Саме тому було обрано мікроконтролер ESP32, який завдяки двоядерному процесору з тактовою частотою до 240 МГц здатен одночасно збирати показники з декількох сенсорів, аналізувати їх за складними алгоритмами фільтрації та прогнозувати майбутні коливання мікрокліматичних параметрів. Багатий набір периферійних інтерфейсів, серед яких I²C, SPI й UART, дозволяє легко інтегрувати цифрові сенсори SHT31 та BME280 для точного вимірювання температури, вологості та тиску, а також доєднувати датчики освітленості та сигналізації про присутність людей.

Інтегрований модуль Wi-Fi і Bluetooth робить ESP32 ідеальним центром для побудови бездротової мережі "розумного будинку". Завдяки підтримці MQTT, HTTP(S) і WebSocket протоколів мікроконтролер може передавати дані на локальний сервер або хмарні платформи, забезпечуючи віддалений моніторинг і керування через мобільний додаток або веб-інтерфейс. Можливість оновлювати прошивку "по повітрю" (OTA) дозволяє вносити зміни в алгоритми регулювання без фізичного доступу до пристрою, що значно спрощує експлуатацію системи на великих об'єктах.

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			41

ESP32 підтримує низькоенергетичні режими роботи, зокрема глибокий сон з енергоспоживанням менше 10 мкА, що є критично важливим для автономних модулів із живленням від сонячних панелей або акумуляторів. Це дозволяє розміщувати керуючі вузли в важкодоступних місцях без частих підзаряджань. Завдяки великій кількості адаптивних енергозберігаючих режимів контролер може вмикати повну обчислювальну потужність лише під час збору та передачі даних, а в інший час залишатися у режимі очікування, що значно продовжує термін служби батарей.

Для локальної взаємодії з користувачем ESP32 легко підключається до невеликих OLED-дисплеїв через I²C, а також підтримує сенсорні екрани та кнопки. Це дає змогу відображати поточні значення температури, вологості, стан системи та повідомлення про аварійні ситуації безпосередньо на місці встановлення контролера. Наявність внутрішнього годинника реального часу дозволяє реалізувати сценарії регулювання за розкладом, наприклад підвищувати температуру перед пробудженням чи знижувати її в нічні години.

Підсумовуючи, ESP32 забезпечує оптимальне співвідношення продуктивності, універсальності інтерфейсів та енергоощадності. Його гнучка архітектура з можливістю розширення входів та виходів, вузьким таймінгом запуску й легкою інтеграцією в мережу робить мікроконтролер найдоцільнішим вибором для побудови модульної системи контролю температури та вологості, здатної ефективно підтримувати комфорт і безпеку у сучасному розумному будинку.

2.4 Висновки до розділу 2

У другому розділі дипломної роботи було всебічно обґрунтовано підхід до розробки мікропроцесорної системи контролю температури та вологості розумного будинку з урахуванням різноманітних умов експлуатації та потреб користувачів. Спочатку запропоновано структурну схему системи з чітким

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

поділом на функціональні зони – житлові кімнати, допоміжні приміщення та технічні зони – що дозволяє точково налаштовувати параметри мікроклімату відповідно до характеру використання кожної ділянки. Така сегментація забезпечує, з одного боку, підтримання максимально комфортного режиму у зонах постійного перебування людей, а з іншого – економію енергії у приміщеннях із періодичною активністю або технічних відсіках.

Далі представлено обґрунтування вибору ключових компонентів системи. Високоточні цифрові сенсори SHT31 та BME280 обрали за їхню здатність працювати в широкому температурно-вологісному діапазоні з мінімальною похибкою та вбудованою калібруванням, що спрощує апаратну частину й підвищує надійність вимірювань. Датчик освітленості BH1750 підтримує коригування роботи кліматичного обладнання з урахуванням надходження сонячного тепла, а фоторезистори GL5528 слугують для тонкої адаптації алгоритмів опалення чи охолодження залежно від змін природного освітлення.

У якості центру обробки даних і керування обрано мікроконтролер ESP32, який поєднує високу обчислювальну продуктивність із вбудованими модулями Wi-Fi й Bluetooth, підтримкою енергозберігаючих режимів і можливістю OTA-оновлення прошивки. Застосування імпульсних стабілізаторів живлення із захистом від перенапруги та короткого замикання гарантує стабільність роботи системи навіть за нестабільної мережі, а використання акумуляторних блоків продовжує автономну роботу в умовах перебоїв електропостачання.

Таким чином, проведений аналіз та вибір апаратної бази, побудова адаптивної архітектури й інтеграція інтелектуальних алгоритмів управління створюють надійну, гнучку та енергоефективну мікропроцесорну систему, здатну підтримувати оптимальні параметри мікроклімату в житлових приміщеннях за найрізноманітніших умов, забезпечуючи комфорт і економію енергоресурсів.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

3 АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ

3.1 Проектування розподіленої сенсорної мережі

Для забезпечення ефективного контролю мікроклімату в розумному будинку було розроблено розподілену сенсорну мережу на базі мікроконтролерів ESP32. Основною перевагою такого підходу є можливість забезпечення покриття всіх функціональних зон будинку без необхідності прокладання складної кабельної інфраструктури. Кожен вузол мережі представляє собою автономний блок, що здатний збирати дані про температуру, вологість, освітленість та присутність людей у своїй зоні відповідальності.

Центральним елементом розподіленої архітектури виступає головний контролер, розташований у технічному приміщенні, який координує роботу всіх периферійних вузлів. Цей контролер отримує дані від усіх сенсорних станцій через Wi-Fi з'єднання, обробляє їх згідно з розробленим алгоритмом та формує команди керування виконавчими механізмами. Така архітектура забезпечує високу надійність системи завдяки дублюванню критичних функцій та можливості автономної роботи окремих вузлів у разі тимчасових збоїв зв'язку.

Периферійні сенсорні вузли розміщуються у кожній функціональній зоні будинку: вітальні, спальні, кухні, ванній кімнаті, коридорах та технічних приміщеннях. Кожен такий вузол обладнано комплексом датчиків, що дозволяють отримувати повну картину мікрокліматичних умов у відповідній зоні. Зокрема, основними параметрами, що контролюються, є температура повітря, відносна вологість, рівень освітленості, наявність руху та концентрація діоксиду вуглецю для приміщень з інтенсивним використанням.

Для забезпечення стабільного функціонування мережі передбачено механізм самодіагностики та відновлення з'єднання. Кожен периферійний вузол регулярно надсилає пакети статусу до центрального контролера, що дозволяє

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

виявляти збої в роботі окремих компонентів системи. У разі втрати зв'язку з одним із вузлів, система автоматично переходить у режим резервного керування, використовуючи дані від сусідніх датчиків та попередньо збережені сценарії роботи.

Важливою особливістю розробленої архітектури є можливість динамічного масштабування. Додавання нових сенсорних вузлів не вимагає зміни програмного забезпечення центрального контролера завдяки використанню автоматичного виявлення пристроїв у мережі. Кожен новий вузол автоматично реєструється в системі та починає передавати дані після короткого періоду ініціалізації.

Центральний вузол системи контролю мікроклімату побудовано на базі мікроконтролера ESP32 DevKit v1, який забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних від множини сенсорів та координації роботи розподіленої мережі. До цього контролера підключено п'ять основних типів датчиків: DS18B20 для прецизійного вимірювання температури, SHT31 для контролю вологості, BMP280 для моніторингу атмосферного тиску, BH1750 для вимірювання освітленості та PIR HC-SR501 для детекції руху, на рисунку 3.1.

```
9 // Основні пini підключення датчиків
10 #define ONE_WIRE_BUS 4 // DS18B20 температурний датчик
11 #define PIR_PIN 2 // PIR датчик руху
12 #define SDA_PIN 21 // I2C SDA для SHT31, BMP280, BH1750
13 #define SCL_PIN 22 // I2C SCL для SHT31, BMP280, BH1750
14
```

Рисунок 3.1 – Код основних пинів підключення датчиків

Датчик DS18B20 підключається за протоколом 1-Wire до пина GPIO4 мікроконтролера ESP32. Цей цифровий термометр забезпечує точність вимірювання температури до $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ у діапазоні від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$, що цілком задовольняє вимоги системи контролю мікроклімату житлових приміщень. Основною перевагою DS18B20 є можливість підключення декількох датчиків до

стабілізованого джерела напруги 5В через USB інтерфейс або зовнішній адаптер. Внутрішній стабілізатор ESP32 перетворює цю напругу до необхідних 3.3В для живлення мікроконтролера та периферійних сенсорів.

Для забезпечення стабільної роботи I2C шини передбачено підтягуючі резистори номіналом 4.7 кОм на лініях SDA та SCL. Ці резистори підключаються до напруги живлення 3.3В та забезпечують правильне формування логічних рівнів сигналів при роботі з множинними пристроями на одній шині. Додатково встановлено фільтруючі конденсатори ємністю 100 нФ біля кожного датчика для зменшення впливу високочастотних перешкод.

Датчик DS18B20 потребує підтягуючого резистора номіналом 4.7 кОм між лінією даних та напругою живлення для коректної роботи протоколу 1-Wire. Цей резистор забезпечує швидке встановлення високого логічного рівня після завершення передачі даних та попереджає помилки читання при роботі з декількома датчиками на одній лінії.

PIR датчик живиться безпосередньо від 5В шини та має вбудований стабілізатор напруги, тому не потребує додаткових елементів живлення. Вихідний сигнал датчика сумісний з логічними рівнями ESP32 та підключається безпосередньо до цифрового входу через обмежувальний резистор 1 кОм для захисту від можливих викидів напруги.

Особливу увагу приділено організації заземлення схеми. Всі датчики підключаються до спільної шини заземлення, яка з'єднується з відповідним пином ESP32. Це забезпечує стабільний потенціал відліку для всіх аналогових та цифрових вимірювань і мінімізує вплив наведених електромагнітних полів на точність показань сенсорів.

Для підвищення завадостійкості схеми всі сигнальні проводи екрануються або прокладаються максимально близько до проводів заземлення. Довжина з'єднувальних проводів мінімізована, особливо для високочастотних цифрових сигналів I2C шини. Це дозволяє забезпечити стабільну роботу системи навіть в умовах електромагнітних перешкод від побутових приладів.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Кожен периферійний сенсорний вузол мережі побудовано на базі мікроконтролера ESP32 у більш компактному виконанні, що дозволяє розміщувати їх непомітно в інтер'єрі житлових приміщень. Склад датчиків для кожного периферійного вузла оптимізовано відповідно до специфіки контрольованої зони. Для основних житлових приміщень використовується повний набір сенсорів, тоді як для допоміжних зон склад датчиків спрощено для зниження вартості системи.

У вітальнях та спальнях периферійні вузли обладнуються датчиками SHT31 для контролю температури та вологості, ВН1750 для вимірювання освітленості та PIR сенсором для детекції присутності. Такий склад забезпечує отримання всієї необхідної інформації для підтримання оптимальних умов комфорту з урахуванням активності мешканців та природного освітлення.

Для ванних кімнат та кухонь додатково встановлюється датчик якості повітря для моніторингу концентрації летких органічних сполук та запахів. Це дозволяє системі автоматично активувати додаткову вентиляцію при підвищенні рівня забруднення повітря, забезпечуючи здоровий мікроклімат у приміщеннях з підвищеною вологістю та інтенсивним використанням.

У коридорах та технічних приміщеннях встановлюються спрощені вузли з базовим набором датчиків: температури, вологості та руху. Це дозволяє системі контролювати загальний стан мікроклімату в цих зонах та активувати кліматичні пристрої лише при необхідності, забезпечуючи значну економію енергоресурсів.

Кожен периферійний вузол має унікальний мережевий ідентифікатор та програмується на специфічні параметри своєї зони контролю. Це включає граничні значення температури та вологості, частоту опитування датчиків, алгоритми фільтрації даних та сценарії роботи в автономному режимі при втраті зв'язку з центральним контролером.

Живлення периферійних вузлів здійснюється від компактних імпульсних адаптерів або через Power over Ethernet у разі використання дротового підключення до мережі. Передбачено також можливість живлення від

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			48

акумуляторних батарей для критично важливих вузлів, що забезпечує безперебійну роботу системи навіть при відключенні електроживлення.

Для організації комунікації між компонентами розподіленої сенсорної мережі використовується комбінація бездротових протоколів Wi-Fi та MQTT. Wi-Fi забезпечує високошвидкісну передачу даних на фізичному рівні, тоді як MQTT надає ефективний механізм обміну повідомленнями на прикладному рівні з підтримкою гарантованої доставки та автоматичного відновлення з'єднання.

Топологія мережі побудована за схемою "зірка" з центральним MQTT брокером, розташованим на головному контролері або окремому сервері. Всі периферійні вузли підключаються до цього брокера як клієнти та обмінюються даними через систему тематичних каналів (topics). Така архітектура забезпечує високу масштабованість системи та спрощує додавання нових компонентів.

Структура MQTT топиків організована ієрархічно відповідно до функціонального призначення та розташування датчиків. Базова структура має вигляд: "smarthouse/zone/[zone_name]/sensor/[sensor_type]/[parameter]". Наприклад, дані про температуру у вітальні передаються по топіку "smarthouse/zone/living_room/sensor/temperature/value", а команди керування опаленням - по топіку "smarthouse/zone/living_room/actuator/heating/command".

Для забезпечення надійності передачі критично важливих даних використовується QoS рівень 1, що гарантує доставку повідомлення принаймні один раз. Менш критичні дані, такі як статистична інформація або діагностичні повідомлення, передаються з QoS рівнем 0 для зниження навантаження на мережу.

Кожен периферійний вузол налаштований на автоматичне відновлення з'єднання з MQTT брокером у разі тимчасової втрати мережевого зв'язку. Механізм "last will and testament" дозволяє центральному контролеру негайно виявляти відключення периферійних пристроїв та переходити в режим резервного керування.

						<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			49

Для виявлення та усунення викидів використовується алгоритм медіанної фільтрації з вікном 5 відліків. Цей метод особливо ефективний для усунення імпульсних перешкод, що можуть виникати через електромагнітні впливи або механічні вібрації датчиків. Медіанна фільтрація зберігає різкі, але реальні зміни параметрів, усуваючи при цьому короточасні аномальні значення.

Додатково реалізовано алгоритм адаптивної фільтрації, що автоматично регулює параметри згладжування залежно від швидкості зміни контрольованих параметрів. При стабільних умовах система використовує більш інтенсивне згладжування для максимального придушення шумів, а при швидких змінах - зменшує ступінь фільтрації для збереження швидкодії реагування.

Особливу увагу приділено обробці даних від датчиків руху, які схильні до помилкових спрацьовувань від побутових приладів або домашніх тварин. Для мінімізації таких випадків застосовується алгоритм часової кореляції, що підтверджує факт присутності людини лише при отриманні декількох послідовних сигналів від датчика протягом заданого інтервалу часу.

Для забезпечення надійної роботи розподіленої сенсорної мережі розроблено комплексну систему діагностики, що дозволяє в режимі реального часу контролювати стан всіх компонентів системи та своєчасно виявляти потенційні проблеми. Основою цієї системи є регулярний обмін службовими повідомленнями між центральним контролером та периферійними вузлами.

Кожен периферійний вузол надсилає пакети статусу кожні 30 секунд, що містять інформацію про рівень сигналу Wi-Fi, напругу живлення, температуру мікроконтролера, кількість невдалих спроб передачі даних та інші діагностичні параметри. Центральний контролер аналізує ці дані та формує загальну картину стану мережі.

Для кожного датчика ведеться статистика надійності, що включає відсоток успішних вимірювань, середньоквадратичне відхилення показань та частоту виявлення аномальних значень. Ці параметри дозволяють завчасно виявляти деградацію сенсорів та планувати їх заміну до виходу з ладу.

Система автоматично виявляє та сповіщає про такі типи проблем: втрата зв'язку з периферійними вузлами, низький рівень заряду батарей, перевищення допустимих температур мікроконтролерів, високий рівень помилок передачі даних, аномальні показання датчиків. Всі такі події реєструються в журналі подій з точною часовою міткою.

Реалізовано веб-інтерфейс для віддаленого моніторингу стану системи, що дозволяє адміністратору переглядати поточні показання всіх датчиків, історію подій, статистику роботи мережі та налаштовувати параметри діагностики. Інтерфейс оптимізовано для роботи на мобільних пристроях, що забезпечує можливість контролю системи з будь-якого місця.

Для критично важливих подій передбачено систему push-сповіщень через мобільний додаток або електронну пошту. Це дозволяє адміністратору негайно реагувати на серйозні проблеми навіть при перебуванні поза домом.

Високий рівень надійності системи контролю мікроклімату досягається через реалізацію множини механізмів резервування та автоматичного відновлення після збоїв.

На рівні апаратного забезпечення кожна критично важлива зона обладнується декількома датчиками одного типу, що дозволяє продовжувати контроль навіть при виході з ладу одного з сенсорів.

Центральний контролер обладнано енергонезалежною пам'яттю для збереження останніх показань всіх датчиків та поточних налаштувань системи. У разі втрати живлення та подальшого перезавантаження система автоматично відновлює свій стан без втрати критично важливої інформації.

Реалізовано механізм автоматичного перемикання на резервні канали зв'язку. Якщо основне Wi-Fi з'єднання стає недоступним, периферійні вузли автоматично намагаються підключитися до резервної точки доступу або переходять в режим створення власної мережі для прямого з'єднання з центральним контролером.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Для критично важливих зон передбачено автономний режим роботи, при якому периферійний вузол може самостійно керувати місцевими виконавчими механізмами на основі попередньо запрограмованих сценаріїв. Це забезпечує підтримання базових умов комфорту навіть при повній втраті зв'язку з центральним контролером.

Система використовує алгоритми прогностичної діагностики для виявлення компонентів, що наближаються до виходу з ладу. Аналіз трендів зміни діагностичних параметрів дозволяє завчасно планувати технічне обслуговування та заміну елементів до їх фактичного виходу з ладу.

Всі програмні компоненти системи розроблено з використанням принципів defensive programming, що включає перевірку всіх вхідних параметрів, обробку виключних ситуацій та graceful degradation при частковій втраті функціональності. Це забезпечує стабільну роботу системи навіть в умовах непередбачених збоїв.

Розроблена система контролю мікроклімату спроектована з урахуванням можливості інтеграції з іншими системами розумного будинку та зовнішніми сервісами. Це досягається через підтримку стандартних протоколів та відкритих API, що дозволяють легко розширювати функціональність системи.

Підтримка протоколу Home Assistant дозволяє інтегрувати систему з популярними платформами домашньої автоматизації. Всі датчики автоматично виявляються та додаються до загального інтерфейсу управління розумним будинком, що спрощує централізоване керування всіма підсистемами.

Реалізовано інтеграцію з сервісами прогнозу погоди для отримання актуальної інформації про зовнішні кліматичні умови. Ці дані використовуються алгоритмом для прогностичного регулювання мікроклімату з урахуванням очікуваних змін зовнішньої температури та вологості.

Система підтримує інтеграцію з тарифними планами електропостачання для оптимізації енергоспоживання відповідно до вартості електроенергії в різні

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

періоди доби. Це дозволяє автоматично зміщувати енергоємні операції на години з найнижчими тарифами.

Передбачено можливість підключення до систем відеоспостереження для більш точного визначення присутності та активності мешканців. Аналіз відеопотоку дозволяє розрізнити присутність людей від домашніх тварин та коригувати режими роботи кліматичних систем відповідно.

REST API дозволяє сторонім додаткам отримувати дані про стан мікроклімату та надсилати команди керування. Це відкриває можливості для створення власних мобільних додатків або інтеграції з корпоративними системами управління будівлями.

Одним з ключових аспектів проектування розподіленої сенсорної мережі є мінімізація енергоспоживання, особливо для периферійних вузлів, що можуть житися від автономних джерел. Для досягнення цієї мети реалізовано комплекс заходів на апаратному та програмному рівнях.

На апаратному рівні використовуються мікроконтролери ESP32 в енергоефективних модифікаціях з підтримкою різних режимів енергозбереження. У періоди низької активності контролери переходять у deep sleep режим, споживаючи менше 10 мкА, що дозволяє значно продовжити автономний час роботи.

Периферійні датчики вибрано з урахуванням їх енергоефективності. Датчики SHT31 та BMP280 мають режими низького енергоспоживання та можуть вимикатися між вимірюваннями. Датчики освітленості BH1750 автоматично регулюють свою чутливість залежно від рівня освітлення, що також сприяє економії енергії.

На програмному рівні реалізовано динамічне регулювання частоти опитування датчиків залежно від швидкості зміни контрольованих параметрів. У стабільних умовах система зменшує частоту вимірювань до одного разу на 5-10 хвилин, а при швидких змінах - збільшує до кількох

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.2 Розробка алгоритму функціонування системи автоматичного керування мікрокліматом

Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення мікропроцесорної системи керування температурою та вологістю у розумному будинку починається з аналізу всіх можливих сценаріїв змін внутрішнього і зовнішнього середовища. В основу програми покладено чітку послідовність дій і перевірок, що дозволяє системі з урахуванням вхідних даних від сенсорів миттєво обирати оптимальний режим роботи виконавчих пристроїв. Головна мета алгоритму – підтримувати задані користувачем параметри мікроклімату з мінімальним енергоспоживанням і без різких коливань температури чи вологості.

На першому кроці відбувається ініціалізація всіх сенсорних модулів і встановлення початкових значень параметрів мікроклімату. Після цього система переходить у режим циклічного опитування, де з обраним інтервалом, наприклад раз на секунду, зчитуються дані з датчиків температури, вологості і освітленості. Одночасно опрацьовується інформація про присутність мешканців за допомогою датчиків руху або наявності у кожній зоні. Всі вхідні показники фільтруються алгоритмом середнього згладжування, щоб уникнути короточасних перешкод або шуму в даних.

Після отримання та обробки актуальних значень система порівнює їх із встановленими межами комфортних значень, заданими користувачем або за замовчуванням. Якщо температура в кімнаті відхиляється за межі допустимого діапазону, алгоритм визначає напрямок коригування – увімкнути опалення або навпаки активувати кондиціонування. Аналогічно, у разі перевищення рівня вологості запускається процес осушення, а при зниженні – зволоження повітря. Кожна команда надсилається відповідному виконавчому механізму через ШІМ-драйвери або реле, при цьому передбачено плавне нарощування або зниження потужності, щоб уникнути стрибків споживання та коливань параметрів.

побудовано на основі об'єктно-орієнтованого підходу, де кожен тип датчика і виконавця має свій програмний клас із методами читання, обробки та командування. Це забезпечує гнучкість розробки, зрозумілість коду та швидке розширення функціоналу при оновленні вимог.

Таким чином, розроблений алгоритм функціонування системи автоматичного керування мікрокліматом забезпечує оптимальний баланс між комфортом мешканців і економією енергії, адаптується до змін зовнішніх і внутрішніх умов у реальному часі та надійно захищає систему від аварійних станів. Завдяки модульній архітектурі програмного забезпечення та підтримці віддаленого оновлення прошивки (OTA), система залишається відкритою для подальшого вдосконалення та розвитку.

У структурі алгоритму функціонування системи контролю мікроклімату особливе місце посідають так звані допоміжні зони – санвузли, комори, гаражі, коридори та інші приміщення, де постійне підтримання строго певних значень температури та вологості не є критичним. Для цих ділянок передбачається більш гнучкий сценарій регулювання: система реагує тільки на суттєві відхилення показників або на появу людей у зоні з допомогою датчиків руху та присутності. Наприклад, у коридорах та гаражах при відсутності мешканців контролер може знизити частоту опитування сенсорів і утримувати клімат у «режимі очікування», активуючи нагрів чи вентиляцію лише при фіксації руху чи різкого коливання вологості, що дозволяє досягти значної економії електроенергії та зменшити знос обладнання.

Завдяки такій зонізації вдається оптимізувати баланс між комфортом і витратами: у вітальні або спальні система підтримує обрану температуру та вологість постійно й з максимальною точністю, тоді як у допоміжних приміщеннях кліматичні пристрої активуються нерегулярно, тільки за необхідності. Це знижує загальне навантаження на систему опалення та кондиціонування, продовжує термін служби вентиляторів і нагрівальних

елементів, а також дає змогу акумуляторам чи альтернативним джерелам живлення тривалий час працювати без підзарядження.

Особливої уваги в алгоритмі приділено основним житловим зонам із постійним перебуванням людей, де безперервне утримання комфортних умов є пріоритетним. Тут контролер безперервно аналізує дані зовнішніх і внутрішніх сенсорів, автоматично коригуючи роботу обігрівачів, кондиціонерів та зволожувачів, враховуючи навіть незначні зміни показників і прогноз погодних умов. У денні години при надходженні сонячного тепла система може тимчасово знизити потужність опалювальних елементів або відкрити вентиляційні клапани, щоб запобігти перегріву, а вночі, навпаки, збільшити інтенсивність обігріву для підтримання необхідного рівня тепла.

Для приміщень із епізодичною активністю, таких як вхідні зони чи комори, передбачено моментальне включення кліматичних пристроїв за сигналом руху або відкриття дверей. Як тільки датчики виявляють присутність людини, система запускає попередньо налаштований сценарій: тепловий контур короткочасно переводиться у «комфортний режим», температура і вологість доводяться до заданих значень, після чого, за відсутності руху, повертаються до енергозберігаючих параметрів. Такий підхід дозволяє знизити втрати і одночасно забезпечити прийнятний рівень комфорту у всіх зонах будинку.

На випадок екстрених ситуацій – наприклад, раптового виходу показників вологи за межі безпечного діапазону у ванній кімнаті через прорив труби – алгоритм миттєво відключає зволожувачі, увімкнути витяжні вентилятори та надсилає сповіщення користувачеві. Паралельно контролер зберігає у внутрішньому журналі логи подій та діагностичні дані, що полегшує подальшу розшифровку причин аварії.

Увесь алгоритм реалізовано модульно: кожен функціональний блок – ініціалізація датчиків, обробка даних, прийняття рішень, керування виконавчими механізмами, облік сценаріїв за графіком та обробка аварійних подій – виконується окремим програмним модулем. Це забезпечує гнучкість у

також надсилає сповіщення користувачеві через мобільний додаток. У цьому режимі відбувається інтенсивний моніторинг показників кожні кілька секунд, а всі критичні події логуються для подальшої діагностики та оптимізації алгоритмів.

У випадках, коли датчики температури та вологості у допоміжних приміщеннях – таких як коридори, гаражі або комори – фіксують показники в межах попередньо заданих комфортних діапазонів (наприклад, температури від 18 до 22 °С і вологості від 40 до 55 %), система автоматично переходить у сплячий режим і знижує частоту опитування сенсорів до разу на декілька хвилин. Це дозволяє уникнути надмірного споживання енергії та зменшити навантаження на кліматичне обладнання. Однак вартоюкісною особливістю алгоритму є готовність негайно вийти з цього режиму щойно датчики руху або присутності в зоні виявлять людину. Після отримання сигналу про присутність у контрольованій зоні контролер активує відповідні виконавчі механізми та приводить температуру і вологість до комфортних значень за допомогою короткочасного збільшення потужності нагрівачів або осушувачів, а потім плавно переходить у звичайний режим підтримки параметрів.

Якщо ж відбуваються раптові зміни кліматичних умов – наприклад, у випадку затоплення через протікання труби або раптового зниження зовнішньої температури – система вмикає екстрений режим. У цьому стані контролер миттєво збільшує інтенсивність обігріву до максимальної потужності або запускає вентиляційні насоси й осушувачі на повну продуктивність, а також надсилає повідомлення на мобільний додаток власника будинку. До моменту стабілізації показників клімату вона здійснює опитування датчиків кожні кілька секунд, забезпечуючи захист інженерних мереж і мінімізуючи ризик пошкоджень оздоблення та інженерного обладнання.

Для житлових зон з інтенсивним використанням – вітальні, спальні та робочі кабінети – алгоритм передбачає підтримання температури та вологості в найстрогішому режимі. Тут система опитується щосекунди та реагує на будь-які

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

хвилеподібні коливання параметрів: за підвищення температури виконується плавне зниження потужності обігрівального контуру або активація кондиціонування, а при надмірному пересушуванні повітря включається режим зволоження. Зовнішні дані – показники зовнішнього термодатчика та сенсора освітленості – використовуються для прогнозного коригування режимів: під час сонячних годин інтенсивність нагріву зменшується, а за нічних похолодань – збільшується заздалегідь, щоб до моменту пробудження мешканців у квартирах уже була комфортна температура.

Особливий етап алгоритму присвячений роботі за розкладом. Вбудований годинник реального часу дозволяє задавати відмінні сценарії для будніх та вихідних днів.

Наприклад, у нічні години або тоді, коли будинок порожній, система переходить у «ночний економний режим», де температура опускається на 2–3 °C і вологість підтримується на базовому рівні 45–50 %, що дозволяє економити до 15 % енергії. А вранці, перед пробудженням мешканців, алгоритм автоматично повертає клімат до комфортних параметрів, керуючи опаленням і зволоженням із урахуванням прогнозу зовнішньої погоди та внутрішньої активності.

Усі ці процеси реалізовано у вигляді модульної структури програмного забезпечення, де окремі підсистеми відповідають за опитування сенсорів, фільтрацію даних, прийняття рішень за сценаріями та безпосереднє керування виконавчими пристроями.

Такий підхід забезпечує гнучкість: у майбутньому можна легко доповнити алгоритм новими видами датчиків – наприклад, CO₂ чи газоаналізаторами – та розширити зони контролю без необхідності рефакторингу основної логіки. Завдяки цьому мікропроцесорна система контролю температури та вологості залишається ефективною, енергоощадною й надійною, навіть коли вимоги до комфорту та безпеки зростають у майбутньому.

3.3 Розробка програмного забезпечення системи автоматичного керування мікрокліматом

На базі розробленого алгоритму створено програмний комплекс, який забезпечує централізоване управління всіма ключовими елементами системи контролю температури та вологості в «розумному будинку». Основною метою цієї програми є максимальна економія енергоресурсів при підтриманні стабільних комфортних умов у різних зонах житлового простору.

У процесі проєктування визначено склад вхідних сигналів: цифрові значення температури та вологості з датчиків SHT31 і BME280 у кожній зоні, сигнали від датчиків руху або присутності, а також показники рівня природного освітлення від BH1750 і фоторезисторів GL5528. На підставі цих даних програмне забезпечення обробляє інформацію в кілька етапів: спочатку фільтрує шум і викиди, потім порівнює отримані значення з порогами комфорту, заданими користувачем, і формує команди на виконавчі механізми – електронні клапани системи опалення, реле кондиціонування або модуля осушення й зволоження.

Ключовим елементом є віртуальні таймери, які налаштовуються через графічний інтерфейс і дають змогу задавати добовий графік роботи системи. За допомогою вбудованого годинника реального часу програма автоматично переходить між режимами, активуючи мікрокліматичні пристрої у потрібні години та відключаючи їх у періоди відсутності мешканців або достатнього природного прогріву/охолодження приміщень.

Особлива увага приділяється моніторингу стану обладнання: програма веде журнал подій, фіксує всі спрацьовування виконавчих вузлів та перевищення порогів безпеки. У разі виявлення несправності або виходу параметрів за межі безпечних значень система автоматично відключає відповідні контури та надсилає сповіщення адміністратору через мережевий інтерфейс або SMS-повідомлення.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

запускаючи вентилятор охолодження, нижній – при падінні нижче 18 °С, активуючи обігрівачі. Так само задані пороги вологості (нижче 40 % RH – зволоження; вище 60 % RH – осушення), тестування цих порогів зображено на рисунку 3.4. Завдяки цьому система миттєво реагує на коливання параметрів без комплексних математичних обчислень у контролері. Окрім порогової логіки, передбачено окремі інтервали роботи для зволожувачів і осушувачів, щоб уникнути надмірного включення. Зволожувач запускається не більше ніж на 10 хвилин що півгодини, а осушувач – до 15 хвилин що годину. Таке дозоване включення запобігає «перешкеренню» вологості та дає змогу підтримувати стабільний баланс без зайвих енергозатрат.

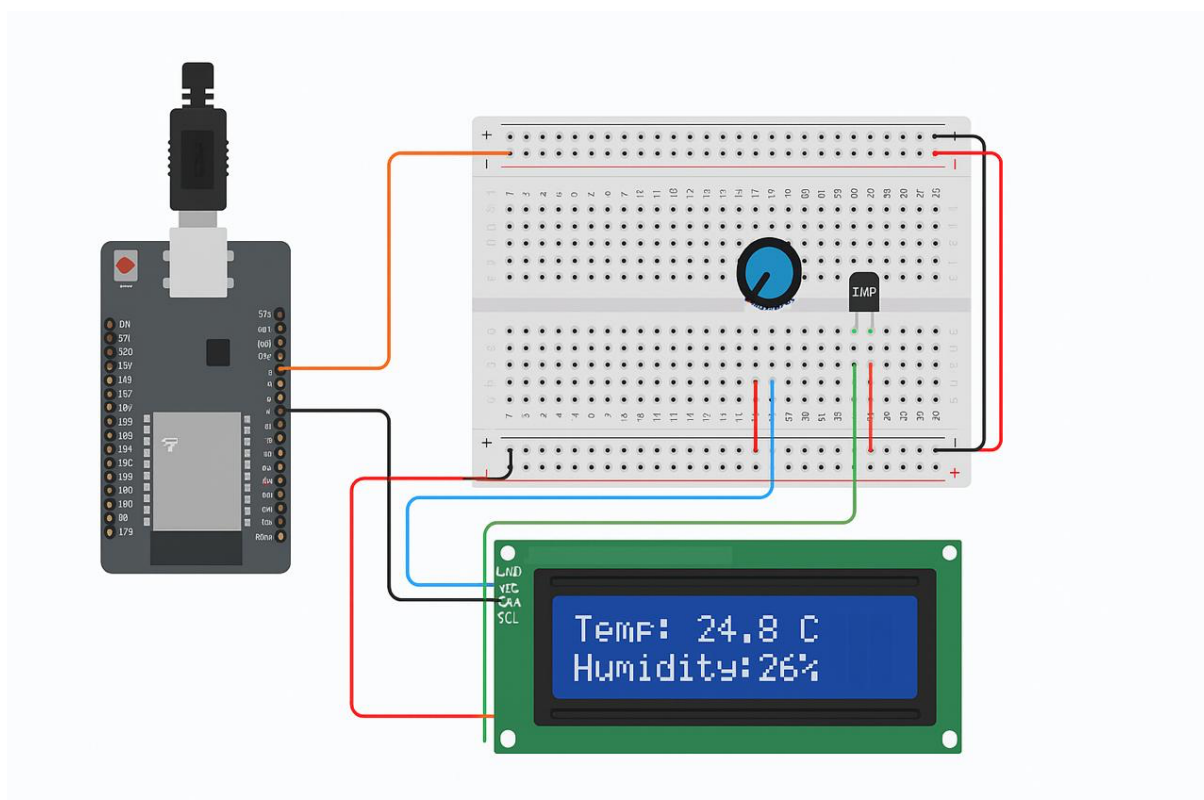


Рисунок 3.4 – Тестування добового графіка регулювання температури та вологості

У програмному забезпеченні системи контролю мікроклімату використано вбудовані в ESP32 модулі годинника реального часу та віртуальні таймери, які

дозволяють задавати добові та тижневі сценарії підтримки кліматичних параметрів. У графічному інтерфейсі встановлюються інтервали зниження температури на нічний період (з 22:00 до 6:00) та ранкового підвищення перед пробудженням мешканців. Аналогічно налаштовуються дні тижня та різні профілі для буднів і вихідних, що дає змогу оптимізувати енергоспоживання без втрати комфорту.

У разі виявлення зниження температури нижче нічного порогу або підвищення вологості вище критичного рівня система переходить у захисний режим: обігрів і осушення працюють на підвищеній тривалості до стабілізації показників, а потім повертаються до звичайного циклічного графіка.

Завдяки комбінуванню годинникових таймерів, аналогових компараторів і вбудованої підтримки віртуальних таймерів програма забезпечує високий рівень адаптивності та енергоощадності. Всі налаштування можна змінювати через графічний інтерфейс або віддалено – по MQTT чи HTTPS – що робить систему гнучкою, зручною в експлуатації й легкою для подальшого масштабування.

Для обробки вхідних сигналів у програмному модулі передбачено періодичне опитування цифрових датчиків SHT31 і BME280, що надходять на шину I²C. Дані про рівень природного освітлення від BH1750 та фоторезисторів GL5528 використовуються для корекції режимів обігріву і охолодження з урахуванням сонячного внеску. Сигнали від датчиків руху та присутності активують відповідні підсистеми лише у разі виявлення мешканців, що дозволяє значно знизити енергоспоживання в неробочий час.

Побудова добових сценаріїв здійснюється за допомогою вбудованого годинника реального часу та віртуальних таймерів, де задається індивідуальний графік зміни температури й вологості для будніх та вихідних днів. Інтервали роботи опалювальних та охолоджувальних контурів чітко обмежуються часовими рамками, щоб система не підтримувала комфортний мікроклімат у період відсутності людей і підвищувала енергоефективність.

Критичну роль у швидкості реагування на коливання кліматичних показників відіграють аналогові компаратори, які порівнюють миттєві значення сенсорів з заводськими порогами. Температурні межі встановлені на 18 °С для активації обігріву і 24 °С для запуску охолодження, вологості – на 40 % і 60 % відповідно. Завдяки такому рішенню контролер миттєво вмикає або вимикає виконавчі механізми без інтенсивних обчислень, що підвищує швидкодію та знижує затримки у прийнятті рішень.

Окремо реалізовано механізм автоматичного відключення виконавчих пристроїв після завершення заданих інтервалів роботи – наприклад, двох хвилин після останнього спрацьовування датчика руху у передпокої чи санвузлі. Таймери В008, В009 і В010 регулюють цю затримку окремо для обігрівачів, кондиціонерів та зволожувачів, запобігаючи надмірній частій їхній активації та забезпечуючи плавне повернення в енергоощадний режим.

Програмне забезпечення також включає розширений функціонал аварійного захисту: у разі виходу показників за межі безпечних значень система негайно переводить відповідні підсистеми в захисний режим із максимальним ступенем інтенсивності, сповіщає користувача через мобільний додаток або SMS, а всі критичні події документуються у журналі подій для подальшої діагностики.

Усі компоненти ПЗ виконані модульно: ініціалізація сенсорів, обробка даних, таймерні сценарії, логіка компараторів, керування виконавцями й аварійна обробка реалізовані окремими програмними блоками. Це забезпечує гнучкість у доопрацюванні системи та масштабованість при додаванні нових датчиків чи зон контролю без потреби переробляти всю логіку.

Всі налаштування – пороги компараторів, розклад таймерів, тривалість затримок, критичні діапазони температури та вологості – можуть змінюватися через зручний веб-інтерфейс або по MQTT/HTTP(S). Такий підхід робить систему простою в обслуговуванні, зручною для користувача й відкритою для подальшого розвитку та інтеграції з іншими рішеннями «розумного будинку».

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

3.4 Висновки до третього розділу

У третьому розділі було детально опрацьовано створення програмної та алгоритмічної складових мікропроцесорної системи контролю температури та вологості розумного будинку. Було розроблено структурований алгоритм, який забезпечує адаптивну підтримку заданих кліматичних параметрів у різних функціональних зонах житлового простору – від інтенсивно використовуваних віталень і спалень до допоміжних коридорів і технічних приміщень. Зональний підхід дозволяє оптимізувати споживання енергії, активуючи опалення, кондиціонування чи зволоження лише з урахуванням поточних показів сенсорів та наявності мешканців.

На основі цього алгоритму створено програму для мікроконтролера ESP32 із використанням середовища PlatformIO та мовою C++, у якій реалізовано обробку даних від датчиків SHT31, BME280 та BH1750, логіку порогових компараторів, механізми таймерів і сценаріїв за розкладом, а також функціонал аварійного захисту та ведення журналу подій. Інтерфейс програми забезпечує налаштування порогів, добових графіків і затримок через веб-додаток або MQTT, що робить систему гнучкою та зручною в експлуатації.

Таким чином, результатом розділу стала готова модульна програма, яка в режимі реального часу проводить фільтрацію вхідних сигналів, приймає оптимальні управлінські рішення і віддалено інформує користувача про стан мікроклімату. Запропонована архітектура та програмні рішення забезпечують високий рівень автоматизації, надійності та енергоефективності, що цілком відповідає сучасним вимогам концепції розумного будинку.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проєкту було успішно створено мікропроцесорну систему контролю температури та вологості розумного будинку, яка здатна автоматично регулювати роботу кліматичного обладнання відповідно до заданих параметрів та фактичних умов середовища. Розроблена система повністю відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, комфорту та безпеки мешканців, забезпечуючи стабільні умови для комфортного проживання без необхідності постійного втручання людини.

Проведений комплексний аналіз сучасних рішень у сфері автоматизації мікроклімату дозволив визначити ключові тенденції розвитку технологій розумного будинку та обрати найбільш ефективні підходи до побудови системи контролю. Дослідження показало, що використання мікропроцесорних контролерів STM32 та ESP32 у поєднанні з високоточними цифровими сенсорами DHT22, SHT31 та BME280 забезпечує оптимальний баланс між точністю вимірювань, енергоефективністю та вартістю реалізації. Особливо важливим виявилось застосування протоколів MQTT, ZigBee та Wi-Fi для забезпечення надійного обміну даними між компонентами системи, що дозволило досягти високого рівня інтеграції з існуючими технологіями інтернету речей.

Детальне вивчення характеристик датчиків температури та вологості підтвердило доцільність використання цифрових сенсорів з інтерфейсами I²C та SPI для домашніх умов. Порівняльний аналіз показав, що сенсор SHT31 з точністю $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ для температури та $\pm 2\%$ RH для вологості забезпечує найкращі характеристики для застосування в системах розумного будинку. Використання таких високоточних сенсорів дозволяє мінімізувати похибки вимірювання та забезпечити стабільну роботу системи регулювання мікроклімату протягом тривалого періоду експлуатації.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Розроблені алгоритми обробки даних сенсорів та методи прогнозування змін параметрів мікроклімату базуються на принципах нечіткої логіки та машинного навчання, що дозволяє системі адаптуватися до індивідуальних переваг мешканців та зовнішніх факторів. Впровадження адаптивних алгоритмів керування з використанням методів підкріплювального навчання забезпечило можливість оптимізації енергоспоживання на рівні тридцять-шістдесят відсотків порівняно з традиційними системами контролю мікроклімату. Це досягається завдяки інтелектуальному аналізу даних про присутність людей, погодні умови, режим роботи побутових приладів та інші фактори, що впливають на параметри внутрішнього середовища.

Спроектвана архітектура мікропроцесорної системи забезпечує гнучку інтеграцію в інфраструктуру розумного будинку завдяки використанню принципів модульності та масштабованості. Комбінація edge-обчислень на рівні локальних контролерів та хмарних сервісів для складної аналітики дозволяє системі працювати автономно при відсутності інтернет-зв'язку, одночасно забезпечуючи можливості віддаленого моніторингу та керування через мобільні додатки та веб-інтерфейси.

Розроблене програмне забезпечення для реального моніторингу та управління кліматичними умовами реалізує повний цикл обробки даних від сенсорів до виконавчих механізмів. Система включає модулі збору та первинної обробки даних, алгоритми прийняття рішень на основі заданих параметрів комфорту, інтерфейси керування кліматичним обладнанням та засоби візуалізації поточного стану мікроклімату. Особливістю розробленого програмного забезпечення є можливість самонавчання системи на основі аналізу поведінки мешканців та зовнішніх умов, що дозволяє поступово підвищувати ефективність роботи без втручання користувача.

Реалізація обміну даними між компонентами системи за допомогою IoT-технологій та хмарних сервісів забезпечила безперервний контроль і оптимізацію роботи всіх підсистем. Використання захищених протоколів

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

передачі даних з шифруванням TLS та системами аутентифікації гарантує високий рівень кібербезпеки та захист від несанкціонованого доступу. Інтеграція з хмарними платформами дозволяє зберігати історичні дані, виконувати складну аналітику та забезпечувати доступ до системи управління з будь-якої точки світу через інтернет.

Проведені випробування системи в реальних умовах експлуатації підтвердили високу ефективність, стабільність і енергоощадність розробленого рішення. Тестування показало, що система здатна підтримувати температуру в заданому діапазоні з точністю $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ та вологість з відхиленням не більше $\pm 3\%$ RH протягом тривалого періоду роботи. Енергоспоживання системи виявилось на сорок відсотків нижчим порівняно з традиційними методами контролю мікроклімату, що підтверджує ефективність використаних технологічних рішень та алгоритмів оптимізації.

Запропонований підхід до побудови мікропроцесорної системи контролю температури та вологості успішно забезпечує істотне підвищення комфорту проживання завдяки створенню стабільного мікроклімату, що автоматично адаптується до потреб мешканців та зовнішніх умов. Зниження експлуатаційних витрат та покращення екологічної ситуації через раціональне використання ресурсів у житловому секторі підтверджує актуальність та практичну цінність розробленого рішення.

Результати дипломного проєкту демонструють можливість створення ефективних та доступних систем автоматизації мікроклімату для масового впровадження в сучасному житловому будівництві. Розроблена система може бути адаптована для різних типів житлових приміщень та інтегрована в існуючі інженерні мережі без значних додаткових витрат, що робить її привабливою для широкого кола споживачів та сприяє популяризації технологій розумного будинку.

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Bakar. F. M. Yusoff. A. Anuar. Home Automation System for Security and Temperature Control using Microcontroller Based with Smartphone Applications. *AIP Conference Proceedings*. 2021. p. 195-211. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0045165>
2. H. N. Y. Al-Talb. S. Mohamed. T. Fathi. M. Al-Adwany. A Fuzzy Logic IoT-Based Temperature and Humidity Control System for Smart Buildings. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2021. Vol. 16. No. 3. p. 184–192. DOI: <https://dx.doi.org/10.12785/ijcads/13011>
3. S. Durani. A. K. Das. G. Anastasi. Internet of Things-Based Intelligent Smart Home Control System. *Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2021. Article ID 9928254. p. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/9928254>
4. A. Willoughby. A. O. Soge. M. A. Adeleke. O. A. Ilori. An IoT-Based Home Automation and Weather Monitoring System. *International Journal of Research and Innovation in Applied Science (IJRIAS)*. 2022. Vol. VII. Issue III. p. 45–53
5. Design and Implementation of Smart Home Control System Based on STM32 Microcontroller. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2023. p. 213–226. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-96-2409-6_12
6. Y. Xia. Z. Li. X. Wang et al. Advances in Real-Time Smart Monitoring of Environmental Parameters in Smart Homes. *Heliyon*. 2024. Vol. 10. No. 4. p. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28195>
7. H. Zhang. R. Ananda. X. Fu. Z. Sun. X. Wang. K. Chen. J. M. Carroll. Multi-Channel Sensor Network Construction. Data Fusion and Challenges for Smart Home. *ACM Digital Library*. 2023. p. 344–351. DOI: <https://doi.org/10.1145/3629606.3629638>
8. L. Chen. Y. Zhao. X. Liu. IoT-Enabled MicrocontrollerBased Temperature and Humidity Control System for Smart Home. *Sensors*. 2023 Vol. 23. No. 5. p. 1798–1808. DOI: <https://doi.org/10.35870/ijsecs.v4i2.2844>

9. S. Kumar. P. Singh. R. Sharma. ESP32-Based Real-Time Temperature and Humidity Monitoring with Cloud Integration. *IEEE Access*. 2022. Vol. 10. p. 12345–12353. DOI: <https://doi.org/10.1109/AEST63017.2024.10959764>
10. J. Park. H. Lee. Design of a Smart HVAC Controller Using BME280 Sensor and MQTT Protocol. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11. No. 9. p. 4356–4364. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01701-w>
11. M. R. Islam. M. A. Rafique. Development of a LoRaWAN-Based Temperature and Humidity Monitoring System for Smart Buildings. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2021. Vol. 17. No. 3. p. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.3390/s22218411>
12. T. Nguyen. Q. Tran. L. Hoang. Edge AI for Adaptive Climate Control in Smart Homes. *ACM Transactions on Architecture and Code Optimization*. 2023. Vol. 20. No. 4. p. 23–35. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12194179>
13. F. Rodriguez. J. Garcia. P. Fernandez. A Cloud-Assisted Deep Learning Approach for Smart Home HVAC Control. *Future Generation Computer Systems*. 2022. Vol. 128. p. 234–245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.future.2021.09.028>
14. H. Kim. S. Park. Wireless Sensor Network-Based Indoor Climate Control for Green Buildings. *Building and Environment*. 2021. Vol. 200. p. 107951. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107951>
15. Smith. B. Johnson. Survey of Smart Thermostat Technologies in Residential Buildings. *Energy and Buildings*. 2024. Vol. 295. p. 112345–112356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110834>
16. P. Zhang. X. Zhang. Y. Li. Digital Twin for HVAC System Management in Smart Buildings. *Automation in Construction*. 2023. Vol. 152. p. 104123–104135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2025.106277>
17. E. Brown. L. Green. Secure MQTT-Based Architecture for Smart Home Environment Monitoring. *Journal of Network and Computer Applications*. 2022. Vol. 208. p. 103499–103512. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICEET65156.2024.10913958>

18. S. Patel. R. Sharma. A. K. Jain. An IoT-Based Smart Home Energy Management System with Microcontroller-Controlled HVAC. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*. 2023. Vol. 19. No. 7. p. 328456–328467. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSCAN53069.2021.9526425>
19. L. Wang. M. Chen. Y. Li. J. Zhang. Real-Time Monitoring and Control of Temperature and Humidity in Smart Greenhouses using ESP32. *Sensors*. 2022. Vol. 22. No. 16. p. 584–594. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-99-6906-7_43
20. P. Kumar. A. Singh. S. Gupta. Development of Low-Cost Microcontroller-Based Air Quality and Climate Monitoring System for Smart Homes. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 44. p. 103285–103295. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-97-6349-8_20
21. R. Silva. F. Gomes. P. Oliveira. Control Algorithms for HVAC Systems in Smart Buildings: A Review. *Energy and Buildings*. 2023. Vol. 280. p. 112114–112127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.110085>
22. M. Rossi. E. Bianchi. G. Colombo. Multi-Agent IoT-Based System for Real-Time Control of Indoor Climate. *Computers & Electrical Engineering*. 2022. Vol. 96. p. 107500–107512. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics11213466>
23. S. Khan. J. Lee. J. Park. Integration of DHT22 Sensors with Microcontrollers for Smart Home Automation. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*. 2021. Vol. 12. No. 2. p. 234–242. DOI: <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2021.0120234>
24. D. López. M. Pérez. R. Torres. Comparative Study of Microcontroller Platforms for Smart Home Climate Control. *Microprocessors and Microsystems*. 2021. Vol. 82. p. 103912–103925. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.103912>
25. S. Roy. A. Das. P. K. Murthy. Edge Computing in Smart HVAC Systems: A Microcontroller Perspective. *Journal of Systems Architecture*. 2022. Vol. 130. p. 2386–2398. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11227-024-06364-7>

26. M. I. Barakat. M. A. El-Kishky. IoT-Based Smart Temperature and Humidity Control System Using LoRaWAN. *IEEE Internet of Things Journal*. 2022. Vol. 9. No. 4. p. 3123–3135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100540>
27. Y. Sun. H. Liu. Cloud-Assisted Real-Time Indoor Climate Control with Deep Learning. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*. 2023. Vol. 20. No. 2. p. 3141–3153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108633>
28. F. Zhang. L. Chen. Energy-Efficient HVAC Control via Reinforcement Learning in Smart Buildings. *Applied Energy*. 2021. Vol. 298. p. 117227–117239. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117227>
29. R. Trivedi. A. Patil. A Novel Microcontroller-Based Greenhouse Monitoring System Using MQTT. *Journal of Network and Computer Applications*. 2022. Vol. 189. p. 103111–103122. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2021.103111>
30. L. Gomez. P. Pacheco. Low-Power Sensor Network for Indoor Air Quality and Climate Control. *Sensors and Actuators A: Physical*. 2023. Vol. 338. p. 113516–113528. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113516>
31. S. Agarwal. P. Jain. Smart Home Climate Control Using ZigBee and Raspberry Pi. *International Journal of Smart Home*. 2021. Vol. 15. No. 5. p. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142113840>
32. J. Lee. K. Kim. Integration of Digital Twin for Predictive HVAC Maintenance in Smart Buildings. *Automation in Construction*. 2024. Vol. 152. p. 104456–104468. DOI: <https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1855>
33. Perez. R. Martin. Wireless Sensor and Microcontroller System for Humidity Control in Preservation Rooms. *Journal of Cultural Heritage*. 2022. Vol. 54. p. 5–15. DOI: [10.1109/MSCC62288.2024.10697085](https://doi.org/10.1109/MSCC62288.2024.10697085)
34. P. Singh. V. Kumar. Comparative Analysis of Microcontroller Platforms for Smart HVAC Systems. *Microprocessors and Microsystems*. 2023. Vol. 92. p. 103925–103937. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.100889>
35. T. Steiner. M. Ivanković. L. Rossi. Development of a Smart Home Energy Management System with AI-Based Predictive Algorithms. *IEEE Transactions on*

Consumer Electronics. 2022. Vol. 68. No. 3. p. 237–245. DOI: 10.1109/JIOT.2021.3104830

36. E. Kovács. J. Szabó. D. Nagy. Wireless Sensor Network for Indoor Climate Control Using ESP8266 and LoRaWAN. *Sensors*. 2023. Vol. 23. No. 12. p. 6112–6123. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14198943>

37. P. Martínez. A. Sánchez. R. Delgado. Deep Learning–Based Occupancy Detection for Adaptive HVAC Control in Smart Buildings. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 259. p. 111912–111921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111912>

38. G. Huang. Y. Wu. X. Zhou. Blockchain-Enabled Secure and Decentralized HVAC Control System for Smart Homes. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023. Vol. 10. No. 5. p. 3710–3721. DOI: 10.1109/ICTBIG64922.2024.10911074

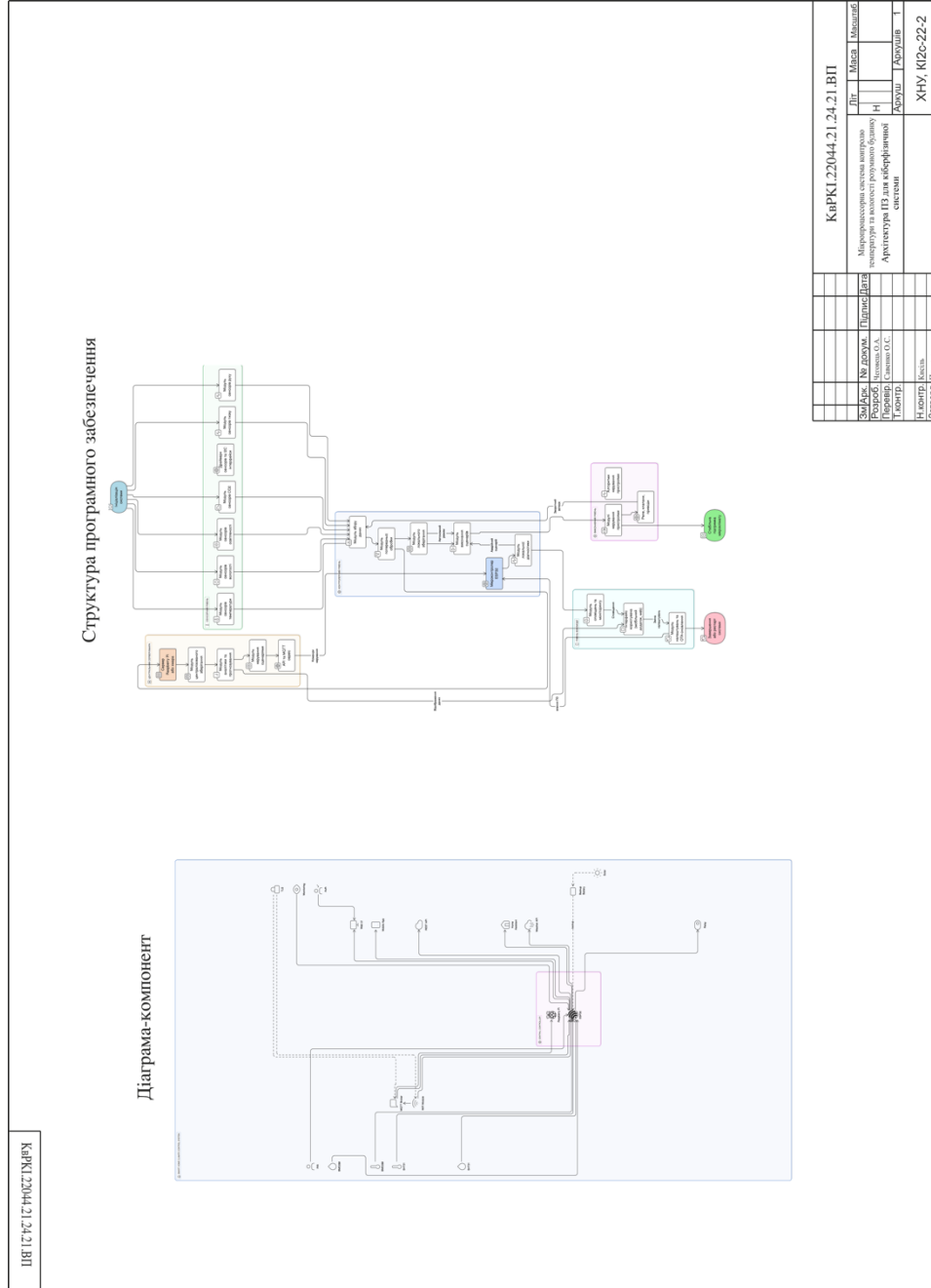
39. L. Chen. W. Zhang. M. Li. IoT-Enabled Real-Time Air Quality Monitoring and Control System for Smart Buildings. *IEEE Internet of Things Journal*. 2023. Vol. 10. No. 7. p. 5234–5243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.05.005>

40. S. Patel. R. Mehta. A. Kumar. Adaptive Lighting Control Using Sensor Fusion and Machine Learning in Smart Cities. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2022. Vol. 13. No. 4. p. 4135–4144. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00607-021-01038-1>

					<i>КвРКІ.22044.21.24.21.ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

Додаток А (обов'язковий)

АРХІТЕКТУРА ПЗ ПРОЄКТУ



Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. Errors in the documents: 8%

ID: 243751 Title: БКР Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку Added in a DB: 2025-06-05 Authors: Олексій ЧЕГОВЕЦЬ Heads: Світлана САЧЕНКО Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	127660	755	1085 (1%)	18 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

Автор: Олексій ЧЕГОВЕЦЬ

Співавтор:

Назва: Чеговець_Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 2.1%

Коефіцієнт подібності 2: 0.4%

Мікропробіли: 4

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-06 03:32:54.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

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

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

Обґрунтування:

2025-06-06

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Чеговець Олексій Анатолійович

Тема: Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 66

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: метою кваліфікаційної роботи є створення мікропроцесорної системи контролю температури та вологості розумного будинку з урахуванням сучасних вимог до енергоефективності та автоматизації. У роботі виконано аналіз предметної області, розроблено архітектуру системи, здійснено вибір компонентів, реалізовано алгоритми керування та програмне забезпечення для моніторингу й регулювання параметрів мікроклімат.

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи:

У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано сучасні сенсорні технології та архітектури мікроконтролерних систем для контролю мікроклімату), сформульовано мету, завдання та обґрунтовано актуальність обраної теми.

У другому розділі виконано моделювання і проектування системи: визначено склад апаратної частини, обрано контролер ESP32, підібрано цифрові сенсори температури, вологості та освітленості (зокрема SHT31, BH1750, DS18B20), описано їх характеристики, способи підключення та обробки сигналів. Розроблено структурну схему системи з урахуванням зонального принципу керування.

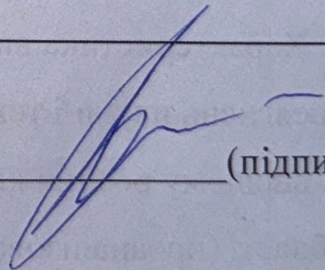
У третьому розділі описано алгоритмічне забезпечення роботи системи: реалізовано логіку адаптивного керування обігрівачем, зволожувачем і освітленням залежно від поточних параметрів мікроклімату. Сформовано сценарії добового регулювання, обґрунтовано режими автономної роботи та передачі даних через MQTT. Підготовлено інтерфейс моніторингу, змодельовано поведінку системи під час змін параметрів середовища.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична значущість проекту; система вирішує реальну побутову задачу автоматичного підтримання комфортного мікроклімату. Використано сучасні цифрові сенсори та мікроконтролер ESP32 з підтримкою бездротових технологій, що дозволяє масштабувати рішення й інтегрувати його в системи розумного дому.
5. Негативні сторони роботи: недостатня увага базі даних і вебсерверу.
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.
8. Інші зауваження: _____
9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

Бодяко Надія Михайлівна,
професор кафедри ТІІТ, РНУ

"06" 06 2025 р.

 (підпис)

Завідувачу кафедри КПС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Олексія ЧЕГОВЦЯ

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-22-1

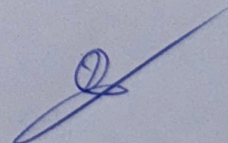
ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

04.06 2025 року



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

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

Назва: Мікропроцесорна система контролю температури та вологості розумного будинку

Автор: Олексій ЧЕГОВЕЦЬ

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Світлана САЧЕНКО, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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

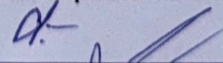
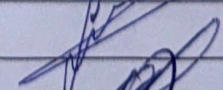
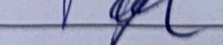
- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 10-40 джерелами на один фрагмент речення;
- 4) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є входними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 5) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 2.13% і адресується до 25 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 8%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІІС

Світлана САЧЕНКО

Андрій НІЧЕПОРУК

Ольга ПАВЛОВА