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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Система контролю температури в серверній кімнаті
Назва теми

КвРКІ 210356.21.03.53 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 IV курсу, група КІ2–21–3 _____ Богдан БОНДАРЧУК
Підпис Ім'я, прізвище

Керівник _____ Марія КАПУСТЯН
Підпис, дата Ім'я, прізвище

Нормоконтролер _____ Тетяна КИСІЛЬ
Підпис, дата Ім'я, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем _____ Ольга ПАВЛОВА
Підпис Ім'я, прізвище

«16» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

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 БАКАЛАВРА

Богдану БОНДАРЧУКУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Система контролю температури в серверній кімнаті

Керівник проекту (роботи) Марія КАПУСТЯН.В., к.т.н., доцент.

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 01.06.2025 р.

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

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз існуючих рішень, Моделювання систем,Тестування.

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

Блок–схема логіки роботи алгоритму керування реле з обробкою завершення циклу

Порівняльна таблиця систем моніторингу параметрів середовища для серверних кімнат

Загальна аріхітектурна схема роботи системи

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання «_10_»_____01_____2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Приміт
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконан
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконан
3	Робота над розділом 1 – аналіз існуючих рішень	01.03.2025	виконан
4	Робота над розділом 2 – моделювання системи	01.04.2025	виконан
5	Робота над розділом 3 – тестування	29.04.2025	виконан
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконан
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконан
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент _____ Богдан БОНДАРЧУК
Підпис ім'я, прізвище

Керівник роботи _____ Марія КАПУСТЯН
Підпис ім'я, прізвище

№ рядка	формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз	Примітка
			Текстові документи			
1		КвРКІ 210356.21.03.53 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
2		КвРКІ 210356.21.03.53 Е8	Блок–схема логіки роботи алгоритму керування реле з обробкою завершення циклу	1		
3		КвРКІ 210356.21.03.53 Е8	Порівняльна таблиця для систем моніторингу параметрів середовища серверних кімнат	1		
4		КвРКІ 210356.21.03.53 Е8	Загальна архітектурна схема роботи системи	1		

КвРКІ 210356.21.03.53 ВП

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Бондарчук		
Перевір.		Капустян		
Н. контр.		Кисіль		
Затв.		Павлова		

Відомість проекту

Літера	Аркуш	Аркушів
У	1	1

ХНУ, КІ2–21–3

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система контролю температури в серверній кімнаті».

Автор роботи: Бондарчук Богдан Васильович.

Керівник роботи: Капустян Марія Вікторівна.

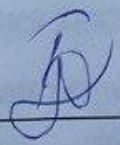
Пояснювальна записка: 55 с., 23 рис., 5 табл., 3 дод., 42 джерел.

КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРИ, МОНІТОРИНГ, ESP32, DHT22, ДАТЧИК, СЕРЕДОВИЩЕ WOKWI, РЕЛЕ, СЕРВЕРНА КІМНАТА.

Метою дипломної роботи є створення простої моделі системи, яка може автоматично контролювати температуру ESP32 та сенсорів.

Об'єктом дослідження є середовище серверної кімнати. Предмет дослідження система моніторингу температури та алгоритм її автоматичного регулювання.

У роботі розглянуто існуючі способи контролю температури, типи сенсорів та контролерів, а також побудовано теоретичну модель з можливістю подальшого впровадження. Окремо досліджено потенціал використання інтелектуальних систем моніторингу для покращення ефективності охолодження.



Підпис студента

30.05.2025

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП 4

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ 6

1.1 Проблема перегріву серверних 6

1.2 Приклад системи контролю температури 11

1.3 Порівняльний аналіз 14

1.4 Постановка завдань 23

1.5 Висновки до першого розділу 24

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ 25

2.1 Вибір апаратної платформи 25

2.2 Опис схеми роботи 27

2.3 Розробка програмного забезпечення 31

2.4 Імітація роботи системи в середовищі Wokwi 33

2.5 Постановка завдань 36

2.6 Висновки до другого розділу 37

3 ТЕСТУВАННЯ 39

3.1 Оцінка точності роботи алгоритму керування 39

3.2 Аналіз стабільності в роботі системи 41

3.3 Порівняльний аналіз ефективності реалізованої системи 43

3.4 Оцінка енергоефективності системи 45

3.5 Оцінка масштабованості та гнучкості системи 47

3.6 Умови впровадження системи в реальне середовище 49

3.7 Перспективи подальшого розвитку та масштабування 51

3.8 Проблеми впровадження та потенційні ризики 53

3.9 Постановка завдань 54

3.10 Висновок до третього розділу 55

ВИСНОВКИ 57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 59
ДОДАТОК А 63
ДОДАТОК Б 64
ДОДАТОК В 65

ВСТУП

Сучасні серверні кімнати є критичною інфраструктурою будь–якої організації, адже забезпечують безперебійну роботу IT–сервісів, зберігання та обробку великих обсягів даних. Однак під час роботи сервери виділяють значну кількість тепла, яке необхідно ефективно відводити.

Відсутність або недостатній контроль температури призводить до утворення гарячих зон, що підвищує енергоспоживання, спричиняє нерівномірний розподіл навантаження на систему охолодження та може викликати локальні перегріви обладнання. Оптимальний діапазон температури в серверній зазвичай становить 20–22 градуса Цельсія з вологістю близько 45–55 відсотків для забезпечення максимальної продуктивності та довговічності обладнання.

Приклади наслідків перегріву

1. Втрата даних та корупція файлів. При тривалому підвищенні температури жорсткі диски та SSD можуть втрачати дані або виходити з ладу без можливості відновлення. Так, внаслідок перепалу елементів живлення під час аварії системи охолодження HDD часто вимагають заміни всього масиву накопичувачів.

2. Несподівані збої та аварійні виключення серверів**.** Багато серверів обладнані механізмом аварійного вимкнення при перевищенні температурного порога, що захищає електроніку, але призводить до простоїв.

3. Збільшення витрат на обслуговування та простої**.** Згідно з дослідженням Uptime Institute, 13 відсотків усіх інцидентів відмов у дата–центрах спричинені збоєм систем охолодження, а середній збиток одного серйозного простою перевищує 100 000 доларів.

Мета та завдання дослідження

Мета: розробити систему контролю температури в серверній кімнаті з автоматичним керуванням кондиціонером на базі мікроконтролера ESP32, яка забезпечить підтримку оптимального температурного режиму в реальному часі.

Завдання:

1. Моделювання умов теплового навантаження та розрахунок параметрів системи охолодження.

2. Вибір компонентів, зокрема датчиків температури, DS18B20 або DHT22, релейних модулів та самого мікроконтролера ESP32.

3. Розробка алгоритму збору даних з датчиків і логіки увімкнення/вимкнення кондиціонера з урахуванням гістерезису, захисту від частих перемикань та можливості віддаленого моніторингу.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Проблема перегріву серверних

Перегрів серверних кімнат становить серйозну загрозу для надійності та продуктивності інформаційних систем. Висока температура може мати катастрофічні наслідки для обладнання, даних та роботи організацій загалом. У сучасному світі, де цифрові технології пронизують усі сфери життя, забезпечення безперебійної роботи обчислювальних систем є ключовим фактором стабільності як комерційного, так і державного сектору.

Серверні кімнати, як центри зберігання, обробки та передачі даних, стають осередками надвисокого навантаження на електронні компоненти. Ці навантаження спричиняють значне тепловиділення, а отже – постійну загрозу перегріву. Ігнорування цієї проблеми може призвести до катастрофічних наслідків.

Основними компонентами, які страждають від перегріву, є процесори, пам'ять, накопичувачі та блоки живлення. Cisco рекомендує тримати температуру в серверній на рівні 18–27 градуса Цельсія, оскільки перевищення цього діапазону прискорює деградацію та може призвести до аварійної зупинки серверів.

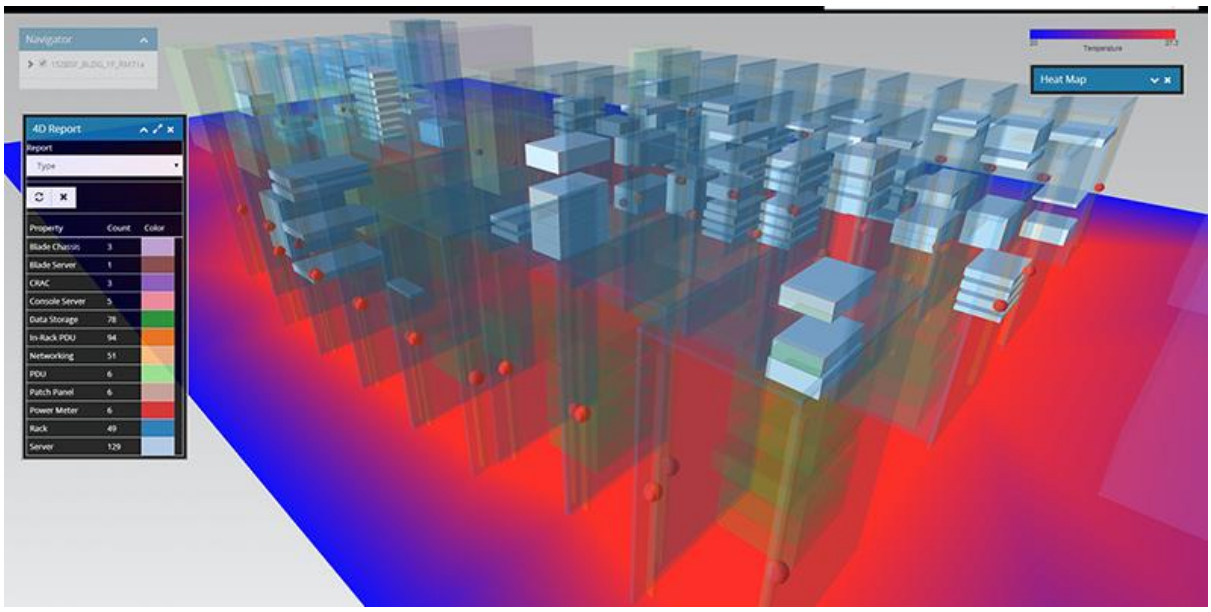


Рисунок 1.1 – Діаграма температурних зон серверної кімнати [27]

Перегрів часто стає причиною втрати критичних даних. Це пояснюється фізичними ушкодженнями носіїв даних, які не завжди можна відновити. Особливо чутливими до перегріву є жорсткі диски та SSD.

Рисунок 1.2 – Пошкоджений від перегріву жорсткий диск [30]

Перегрів є частою причиною позапланових простоїв серверів. Такі простої дорого коштують компаніям у фінансовому плані, особливо якщо йдеться про системи фінансових транзакцій або електронної комерції. Наприклад, у системах фінансових транзакцій, електронної комерції**,** банківських сервісах або платіжних шлюзах.

Дослідження показують, що навіть короткочасна зупинка в роботі таких систем може призвести до втрат у розмірі від кількох тисяч до мільйонів доларів, залежно від обсягу операцій компанії. Крім фінансових збитків, регулярні простої через перегрів також негативно впливають на репутацію компанії**,** довіру клієнтів та викликають зростання витрат на відновлення працездатності серверної інфраструктури.

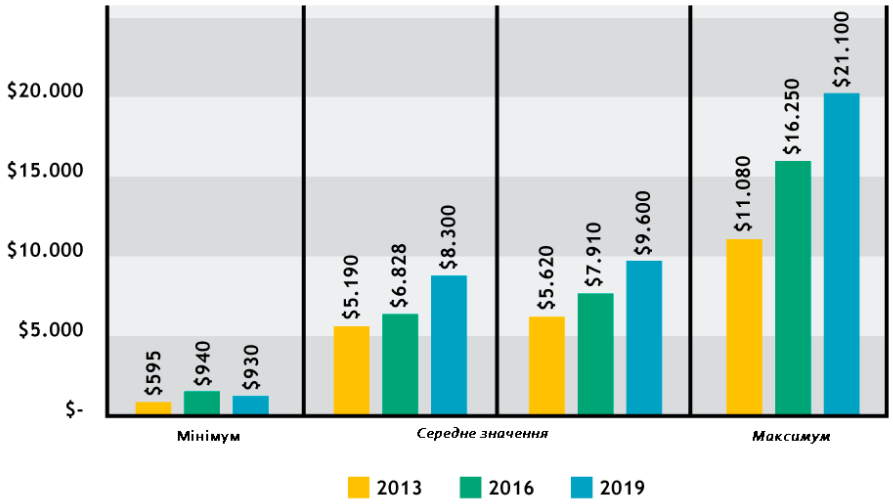


Рисунок 1.3 – Графік вартості простоїв серверних кімнат [29]

Регулярні перегріви приводять до теплового старіння компонентів, що різко зменшує термін їх служби. Сервери, які працюють у постійно високих температурах, можуть зношуватись у 2–3 рази швидше, ніж обладнання, яке експлуатується в рекомендованих умовах.

Неефективні або неправильно налаштовані системи охолодження значно збільшують витрати на електроенергію. Cisco зазначає, що коректно налаштована система може знизити споживання енергії до 30 відсотків, що позитивно впливає на загальні експлуатаційні витрати компанії.

У сучасному світі, де цифрові технології пронизують усі сфери життя, забезпечення безперебійної роботи обчислювальних систем є ключовим фактором стабільності як комерційного, так і державного сектору. Серверні кімнати, як центри зберігання, обробки та передачі даних, стають осередками надвисокого навантаження на електронні компоненти. Ці навантаження спричиняють значне тепловиділення, а отже – постійну загрозу перегріву. Ігнорування цієї проблеми може призвести до катастрофічних наслідків.

SSD–диски особливо схильні до негативного впливу перегріву. Відомо, що при високих температурах відбувається швидше старіння елементів пам’яті типу

NAND, що призводить до зменшення кількості циклів перезапису. Крім того, висока температура підвищує ризик втрати даних у разі збоїв живлення.

У разі перевищення рекомендованої температури зазвичай 18–27 градуса Цельсія згідно з ASHRAE, процесори, оперативна пам'ять і чипсети починають працювати на межі можливостей. Кожен зайвий градус пришвидшує процес старіння кремнієвих структур.

Наприклад, температурне підвищення на 10 градуса Цельсія здатне скоротити термін служби напівпровідникових компонентів майже вдвічі. Такий ефект не лише призводить до появи помилок у роботі, а й створює передумови до раптових відмов.

Серверне обладнання зазвичай оснащене сенсорами температури, які активують механізми аварійного вимкнення для запобігання серйозним ушкодженням. Проте такі відключення часто відбуваються без попередження, що може порушити критичні бізнес–процеси, спричинити втрати даних та вплинути на продуктивність праці цілої організації.

У випадку критичного перегріву активується система захисту, яка екстрено вимикає сервер для запобігання фізичному руйнуванню. Таке аварійне завершення роботи не тільки викликає тимчасову зупинку сервісів, але й ускладнює подальший запуск, особливо у випадку, коли одночасно вимикається велика кількість вузлів.

Підвищене тепловиділення серверів змушує системи кондиціонування працювати на максимальній потужності, що, своєю чергою, призводить до зростання енергоспоживання. Це негативно впливає не лише на витрати компанії, а на навколишнє середовище через збільшення викидів CO2.Охолодження серверів – це не просто комфортне середовище, а питання виживання всієї IT–інфраструктури.

В середньому на кожен 1 кіловат потужності обчислювального навантаження потрібно до 0.5 –1.5 кіловат на охолодження. Це означає, що при навантаженні у 50 кіловат серверна може споживати ще до 75 кіловат енергії на кондиціонування. При тарифі чотири гривні за кіловат–годину це близько 300 гривень за годину або понад 216 000 гривень на місяць за цілодобово, сім днів на тиждень роботу.

Часті перегріви спричиняють передчасне зношення компонентів. Це зумовлює потребу у частішій заміні устаткування, що тягне за собою підвищення загальної вартості володіння IT–інфраструктурою. Крім того, аварійні ситуації вимагають термінового втручання спеціалістів, що збільшує операційні витрати.

Постійне перегрівання викликає вихід з ладу компонентів, які ще не вичерпали свого номінального ресурсу. Наприклад, заміна одного серверного блоку живлення коштує від 3 000 до 10 000 грн. Заміна материнської плати або RAID–контролера – ще дорожча. У великих дата–центрах це може перетворитись на системну витрату в сотні тисяч гривень щомісяця. Також варто враховувати витрати на виклик обслуговуючого персоналу, модернізацію систем охолодження та простої в роботі, які призводять до втрати прибутку та зниження довіри клієнтів.

Процесори та інші компоненти мають вбудовані механізми термічного обмеження. Після досягнення певної температури система автоматично знижує тактову частоту, щоб уникнути ушкоджень. Це прямо впливає на продуктивність – сервер починає працювати повільніше, що призводить до затримок у відповідях додатків і збільшення часу обробки запитів.

У 2023 році збій системи охолодження в одному з європейських банків призвів до вимкнення більш як 150 серверів, внаслідок чого обробка транзакцій була повністю припинена на 14 годин. За цей час компанія втратила понад 600 тисяч євро прибутку і ще більше – в довірі клієнтів.

Контроль температурного режиму серверної кімнати – це не лише питання енергоефективності чи безпеки даних, а й запорука безперервності бізнес–процесів. Перегрів – це не подія, яка може статись колись, а реальна загроза, з якою стикаються дата–центри щодня. Раціональне проектування, впровадження автоматизованих систем моніторингу температури та своєчасне технічне обслуговування – ось базові кроки для запобігання колапсам в IT–інфраструктурі.

Рисунок 1.4 – Аварійна ситуація в серверній кімнаті після збою охолодження [31]

1.2 Приклад системи контролю температури

Сучасні серверні приміщення вимагають постійного контролю температури, оскільки навіть незначні коливання можуть призвести до втрати даних або простоїв. Організації використовують як готові рішення від провідних виробників, так і власні системи на базі мікроконтролерів.

Моніторинг температури в серверних приміщеннях є невід'ємною складовою надійної роботи сучасних IT–інфраструктур. Існує кілька основних категорій рішень, кожна з яких має свої переваги, особливості впровадження та обмеження.

Автономні температурні сенсори – це прості пристрої, які працюють без постійного підключення до мережі. Вони фіксують показники температури у вбудованій пам'яті (SD–карті або вбудованій флеш–пам'яті) та часто оснащені локальним дисплеєм. Завдяки простоті встановлення та низькій вартості, такі рішення підходять для невеликих серверних або резервних систем. Недоліком є відсутність віддаленого моніторингу у реальному часі – для отримання даних потрібен фізичний доступ до пристрою.

Мережеві сенсори підключаються до локальної мережі через Ethernet або бездротовий інтерфейс Wi–Fi. Вони передають дані на центральні сервери моніторингу або хмарні платформи з використанням протоколів SNMP, MQTT, HTTP/HTTPS. До переваг відносять віддалене керування, real–time сповіщення про перевищення порогів та інтеграцію з системами NMS. Слабкою стороною є потреба в налаштуванні мережевих параметрів та ризики безпеки.

Sensaphone S2110 (Ethernet, SNMP) – призначений для використання в критично важливих середовищах з можливістю оповіщення по SMS і email.

Рисунок 1.5 – Sensaphone S2110 [32]

Рисунок 1.6 – UbiBot WS1 Pro (Wi–Fi) [33]

UbiBot WS1 Pro (Wi–Fi) – є зручним у встановленні рішенням для моніторингу з хмарним інтерфейсом та мобільним додатком.

DCIM (Data Center Infrastructure Management) – це інтегровані рішення, які забезпечують повноцінний контроль та керування всією фізичною інфраструктурою дата–центру. Системи DCIM об’єднують моніторинг кліматичних умов, управління електроживленням, контроль фізичного доступу та забезпечують комплексну аналітику продуктивності обладнання.

Контролери кліматичних умов: забезпечують постійний моніторинг температури, вологості, а також протікання води. Енергоменеджмент: складається з інтелектуальних блоків розподілу еклектроенергії, системи управління енергоспоживанням, моніторингу напруги та струму. Системи безпеки серверних приміщень: передбачають наявність дверних датчиків, камер відеоспостереження, систему контроль доступу до серверних приміщень на основі PIN–кодів. Інтеграція: підтримка API, плагіни для популярних платформ віртуалізації (VMware, Hyper–V).

Переваги: централізований контроль, детальна аналітика, прогнозування потенційних аварійних ситуацій, оптимізація енергоспоживання (PUE), зручні дашборди з реальними показниками. Обмеження: значні початкові інвестиції, висока складність у налаштуванні, необхідність навчання персоналу, підвищення надійності роботи дата–центру, своєчасне виявлення проблем, зниження операційних витрат, можливість прогнозної аналітики.

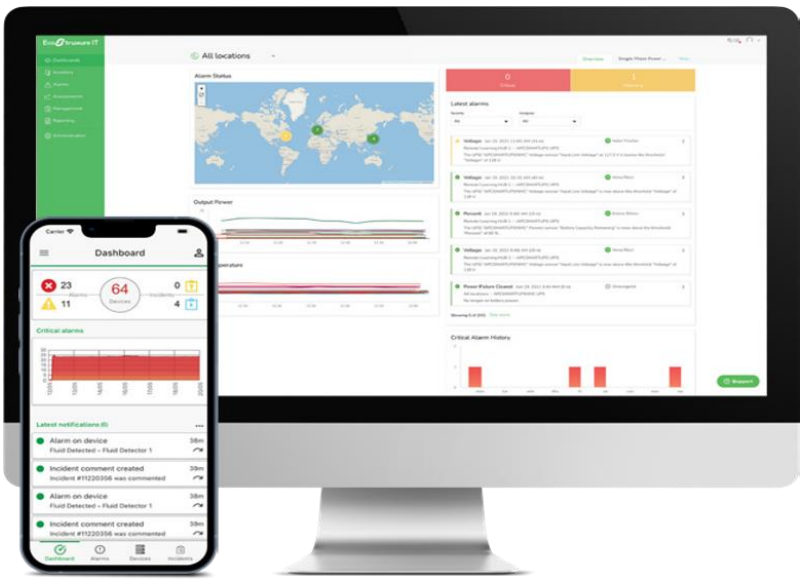


Рисунок 1.7 – Інтерфейс DCIM платформи Schneider Electric EcoStruxure [34]

1.3 Порівняльний аналіз

Моніторинг температури у серверних приміщеннях є критичним елементом забезпечення безперервної роботи інформаційних систем. У даному розділі виконується порівняльний аналіз існуючих технологічних рішень для контролю температури з метою визначення найбільш ефективного підходу до забезпечення стабільної роботи серверної інфраструктури.

Порівняння здійснюється за основними критеріями: точність вимірювання, швидкість реагування на зміну температури, вартість впровадження та обслуговування, масштабованість системи, можливість інтеграції з іншими інформаційними системами, а також ступінь автоматизації процесів моніторингу.

Точність вимірювання визначає, наскільки достовірно система відображає реальні умови у серверній кімнаті. Швидкість реагування характеризує інтервал між зміною температури та реєстрацією змін системою. Вартість впровадження та обслуговування включає не лише закупівлю обладнання, а й витрати на інсталяцію, налаштування, технічну підтримку та оновлення.

Масштабованість дозволяє оцінити можливість подальшого розширення системи без значних фінансових витрат. Інтеграція з іншими системами є важливою для забезпечення централізованого управління (зокрема інтеграція з BMS або DCIM). Рівень автоматизації відображає ступінь незалежності системи у прийнятті рішень та реагуванні на аварійні ситуації.

Автономні сенсори температури – це пристрої, здатні здійснювати вимірювання температурних параметрів без постійного підключення до зовнішніх джерел живлення чи інформаційних мереж. Основною особливістю автономних сенсорів є їх незалежність, компактність і здатність зберігати дані локально для подальшого аналізу.

Такі пристрої широко застосовуються в умовах, де немає можливості розгорнути повноцінну мережу моніторингу або де відсутні вимоги до безперервної передачі даних. Автономні сенсори ідеально підходять для невеликих серверних кімнат, промислових об’єктів, складів, лабораторій та мобільних установок.

Конструктивні особливості автономний сенсор складається з наступних основних компонентів, температурного датчика термістора, термопари або резистивного термометра RTD, який безпосередньо вимірює температуру, контролера та мікроконтролера, що здійснює обробку сигналів і збереження даних, внутрішня флеш–пам’ять або слот для картки пам'яті, призначена для накопичення історичних даних, дисплей для локальної індикації вимірювань, автономномного джерела живлення у вигляді вбудованого акумулятора або батареї, що забезпечує тривалу безперебійну роботу пристрою.

Основні характеристики автономних сенсорів: діапазон вимірювання температури охоплює значення від мінус п’ятдесяти до понад ста п’ятдесяти градусів Цельсія – залежно від конструкції та призначення пристрою. Точність вимірювання зазвичай становить від половини до двох градусів Цельсія. Інтервал зчитування даних може бути запрограмований у межах від однієї хвилини до однієї години. Обсяг внутрішньої пам’яті забезпечує збереження від кількох сотень до кількох тисяч записів. Тривалість автономної роботи пристрою коливається від пів року до декількох років без потреби у підзарядці – залежно від налаштувань режиму роботи та енергоефективності компонентів.

Переваги використання автономних сенсорів: енергонезалежність можуть працювати без зовнішнього живлення, або мережі передачі даних, мають низьку вартість, що робить їх дешевим рішенням для базового моніторингу, простота встановлення вони не потребують складної конфігурації або спеціального налаштування, надійність працюють навіть у складних умовах де низькі температури, вологість, запиленість, їх мобільність дозволяє можливість швидкого перенесення пристрою залежно від потреб користувача або змін у конфігурації обладнання. Автономні сенсори мають і певні недоліки, вони не забезпечують моніторинг у реальному часі–дані потрібно зчитувати вручну через інтерфейси USB або Bluetooth, через обмежений обсяг пам’яті при тривалому моніторингу виникає необхідність в регулярному зчитуванні даних, також виникає потреба в періодичному технічному обслуговуванні перевірки стану живлення заміни батарей,

крім цього неможливість оперативного реагування на надзвичайні ситуації без постійного моніторингу система не зможе автоматично викликати тривогу.

У серверних кімнатах автономні сенсори часто використовуються як додатковий рівень безпеки або як резервне рішення у випадку відмови основних систем моніторингу. Наприклад, їх встановлюють у важкодоступних місцях – за стійками серверів або біля кондиціонерів – для періодичної перевірки локальних температурних режимів. У випадку аварійного вимкнення основного моніторингу, дані з автономних сенсорів дозволяють відновити історію змін температури для аналізу причин інциденту.

iButton Thermochron DS1922L – компактний автономний температурний реєстратор із широким діапазоном вимірювань і великим об'ємом пам'яті.EL–USB–2 (Lascar Electronics) – USB–реєстратор температури і вологості для швидкого зчитування даних через комп'ютер.Testo 174T – простий у використанні логгер температури для зберігання продуктів і моніторингу складських приміщень.

Рисунок 1.15 – автономний реєстратор температури iButton Thermochron [35]

Автономні сенсори є важливою складовою у системах моніторингу температури серверних кімнат завдяки своїй простоті, надійності та доступності. Вони забезпечують базовий рівень контролю і можуть слугувати як основним, так і резервним засобом реєстрації критичних параметрів. Однак через обмеженість функціоналу автономні рішення доцільно використовувати у поєднанні з більш складними мережевими системами моніторингу для забезпечення повної безпеки інформаційної інфраструктури.

Мережеві сенсори температури – це пристрої, призначені для постійного моніторингу кліматичних параметрів у реальному часі з можливістю передачі даних через локальні комп'ютерні мережі (Ethernet) або бездротові інтерфейси (Wi–Fi).Такі системи стали стандартом у сучасних серверних кімнатах і дата–центрах завдяки високій точності вимірювань, можливості централізованого контролю та інтеграції з системами управління інфраструктурою.

Мережевий сенсор безперервно знімає показники температури за допомогою вбудованого датчика, обробляє інформацію через вбудований мікропроцесор і передає ці дані по мережі за допомогою стандартних комунікаційних протоколів: SNMP (Simple Network Management Protocol) – для інтеграції з системами моніторингу (NMS, DCIM).HTTP/HTTPS – для виведення даних через вбудовані веб–інтерфейси.MQTT – для IoT–інтеграцій і хмарних платформ.SMTP – для відправки сповіщень електронною поштою.

Wi–Fi–сенсори використовуються там, де дротове підключення ускладнене або неможливе. Вони дозволяють гнучко розміщувати пристрої моніторингу в будь–якому місці серверної кімнати без необхідності прокладання додаткових кабелів.

Ethernet–сенсори підключаються безпосередньо до локальної мережі через дротове з'єднання, що забезпечує високу стабільність передачі даних і мінімальні затримки. Такі рішення особливо актуальні для критичних середовищ, де потрібно гарантувати постійну доступність моніторингової інформації.

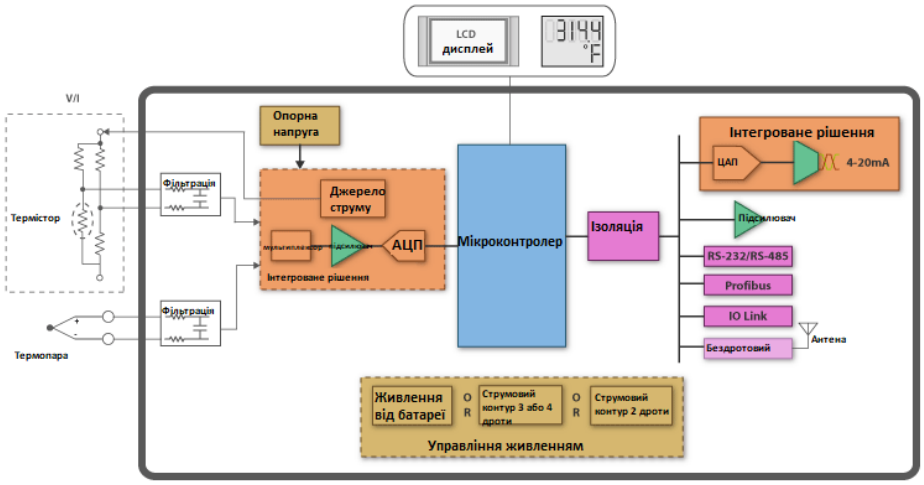


Рисунок 1.16 – Схема принципової роботи мережевого сенсора температури [36]

Основні характеристики мережевих сенсорів передбачають точність вимірювання температури коливається в межах від мінус нуля цілих двох десятих до мінус нуля цілих п’яти десятих градуса Цельсія. Діапазон робочих температур від мінус сорока до плюс вісімдесяти п’яти градуса Цельсія. Можливість реального часу моніторингу з частотою оновлення даних від 1 до 60 секунд. Наявність локального журналу подій (інколи до 10 000 записів). Інтерфейс керування: веб–браузер, мобільний застосунок або спеціалізоване ПЗ. Методи підключення: до пристрою передбачено можливість дротового підключення за допомогою роз’єма Ethernet типу RJ45, а також бездротового підключення за стандартами Wi–Fi 802.11b/g/n.

Переваги використання мережевих сенсорів – мережеві сенсори температури забезпечують безперервний моніторинг у реальному часі. Дані можуть бути доступні користувачеві дистанційно з будь–якого місця через інтернет, що особливо важливо для критичних об'єктів. Завдяки підтримці стандартних протоколів передавання даних, такі пристрої легко інтегруються в існуючі системи диспетчеризації та контролю, зокрема в інфраструктури класу SCADA або DCIM. Промислові моделі відзначаються високою точністю та надійністю, що дозволяє використовувати їх у складних або агресивних середовищах. Додатковою перевагою є функція автоматичного сповіщення: у разі перевищення критичних

порогів система миттєво надсилає повідомлення електронною поштою, через текстові повідомлення або push-нотифікації. Зручний інтерфейс керування через вебпанель або мобільний додаток спрощує адміністрування та налаштування пристроїв.

Недоліки мережевих сенсорів: такі сенсори мають певні обмеження, зокрема вартість обладнання зазвичай є вищою порівняно з автономними моделями, що може бути критичним для невеликих підприємств або бюджетних проєктів. Ефективна робота мережевих пристроїв тісно пов’язана з якістю локальної інфраструктури: у разі збоїв у роботі мережі або нестабільного сигналу Wi–Fi передача даних може бути тимчасово ускладненою або перервана, крім того, у випадку неналежного захисту інформаційної мережі існує ризик несанкціонованого доступу до пристроїв, що може загрожувати цілісності даних та стабільності системи в цілому.

Приклади популярних мережевих сенсорів. Sensaphone IMS–4000 – потужний промисловий сенсор з Ethernet–з'єднанням і підтримкою. SNMP.UbiBot WS1 Pro – компактний Wi–Fi–сенсор з мобільною платформою і можливістю інтеграції у хмарні сервіси. HWg–STE Ethernet Thermometer – економічне рішення для базового моніторингу через Ethernet.

Рисунок 1.17 – Приклад мережевого сенсора температури UbiBot WS1 Pro [37]

У сучасних серверних кімнатах мережеві сенсори є невід'ємною частиною загальної системи моніторингу навколишнього середовища. Вони встановлюються у ключових точках приміщення: біля серверних стійок, поруч з кондиціонерами, у верхніх та нижніх шарах повітряного простору, біля електричних щитків та джерел тепла.

Завдяки використанню декількох сенсорів у різних зонах, можна створити детальну теплову карту серверного приміщення та своєчасно виявити «гарячі точки». Мережеві сенсори Ethernet/Wi–Fi є високоефективними інструментами для безперервного контролю температури в критичних середовищах, таких як серверні кімнати та дата–центри. Вони забезпечують гнучкий доступ до даних, можливість інтеграції в комплексні системи моніторингу та дозволяють оперативно реагувати на зміну умов експлуатації.

DCIM–платформи (Data Center Infrastructure Management) – це комплексні системи для управління фізичними та енергетичними ресурсами дата–центрів. Їх головна мета – забезпечення максимальної ефективності використання обладнання, енергії та простору за рахунок централізованого моніторингу, аналізу та автоматизації процесів. DCIM об'єднує функціонал систем моніторингу температури, вологості, енергоспоживання, стану мережі, охолодження, а також засоби безпеки та доступу.

Ключові функції DCIM–систем – моніторинг кліматичних параметрів зокрема температури, вологісті, виявлення протіканнь води, контролю температурних зон, що дозволяє вчасно реагувати на зміни температури та уникати перегріву обладнання, особливу увагу приділено управлінню електроживленням,яке включає моніторинг джерел безперебійного живлення, генераторів та ліній електроживлення, що сприяє стабільності роботи та оптимізації енергоспоживання. DCIM також забезпечує аналіз використання простору в серверних приміщеннях, дозволяючи оптимізації розміщення серверів, стійок та іншого обладнання, також система враховує звсоби фізичної безпеки, контролю доступу, відеоспостереження, та тривожні системи.

Прогнозна аналітика на основі аналізу прогнозування зношення компонентів та аварійних ситуацій. Автоматизація операцій є частиною функціональності DCIM завдяки створенню сценаріїв система автоматично реагує на аварійні події. Інтеграція дає можливість об'єднання із зовнішніми системами, такими як BMS (Building Management System), ERP, CMDB, NMS. DCIM також здатна на автоматичне виявлення збоїв та прогнозування потенційних ризиків, а також інтеграцію з системами безпеки, контролю доступу та пожежогасіння.

Сучасні DCIM–системи часто використовують штучний інтелект для прогнозної аналітики, що дозволяє виявляти можливі проблеми ще до їхнього виникнення та приймати рішення в автоматичному режимі.

Рисунок 1.18 – Загальна схема роботи DCIM–платформи [38]

DCIM–системи забезпечують централізоване управління усіма фізичними та логічними ресурсами серверної інфраструктури з єдиного інтерфейсу. Можливість оптимізації енергоспоживання за допомогою аналізу показників PUE (Power Usage Effectiveness), що дозволяє мінімізувати витрати на енергію. Дозволяє впровадити прогнозне обслуговування на основі аналізу динаміки змін параметрів інфраструктури система передбачає відмови і дає змогу вчасно запобігти аваріям, та швидко реагувати на інциденти, автоматичним генеруванням тривоги, і чіткою картою інфраструктури прискорюють діагностику та усунення проблем. Завдяки

зниженню кількості незапланованих простоїв зростає рівень надійності та доступності сервісів, система накопичує історичні дані для довгострокового аналізу і планування модернізації інфраструктури.

Недоліки DCIM–систем: висока вартість впровадження, комплексні платформи вимагають значних початкових інвестицій, складність налаштування та інтеграції потрібен досвідчений персонал для конфігурації та обслуговування, необхідність регулярного оновлення як програмного забезпечення, так і апаратної частини сенсорних мереж.

Приклади популярних DCIM–платформ: Schneider Electric EcoStruxure IT: модульна система для моніторингу температури, енергоспоживання і доступу з прогнозною аналітикою. Sunbird DCIM: сучасне рішення для візуалізації стійок, енергоспоживання і планування ресурсів. Nlyte Software: повна автоматизація управління активами, просторовим плануванням і енергоспоживанням. Vertiv Environet Alert: просте та гнучке рішення для середніх дата–центрів.

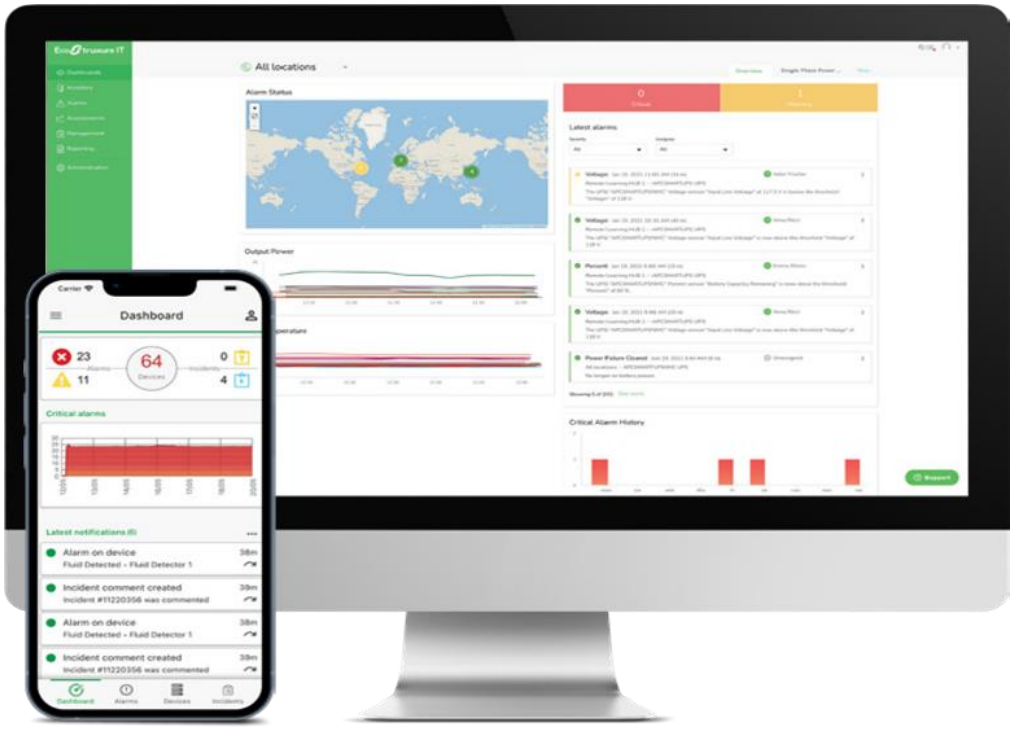


Рисунок 1.19 – Приклад інтерфейсу DCIM EcoStruxure IT [34]

У серверних кімнатах та міні–дата–центрах DCIM–платформи використовуються для безперервного моніторингу температури в різних зонах приміщення, відстеження роботи систем кондиціонування повітря, контролю електроживлення стійок і серверів, управління фізичним доступом до серверної кімнати, створення аналітичних звітів для керівництва, особливо ефективним є застосування DCIM–систем у великих об'єктах, де відмова навіть одного вузла може призвести до значних фінансових втрат. DCIM–платформи є невід'ємним елементом сучасної інфраструктури дата–центрів та серверних кімнат. Вони забезпечують повний цикл управління інфраструктурою – від моніторингу середовища до прогнозування технічного обслуговування. Незважаючи на високу вартість впровадження, DCIM–системи значно підвищують надійність роботи серверної інфраструктури та забезпечують ефективне використання ресурсів. Їх використання є обов'язковою вимогою для центрів обробки даних, що прагнуть відповідати сучасним вимогам до енергоефективності, надійності та безпеки.

1.4 Постановка завдань

Об’єктом дослідження у межах першого розділу є система охолодження та моніторингу температури в серверних приміщеннях.

Предметом дослідження виступають сучасні технічні засоби моніторингу температури, принципи їх функціонування, способи інтеграції в IT–інфраструктуру та порівняльні характеристики існуючих рішень.

Метою розділу є виявлення переваг і недоліків наявних підходів до моніторингу мікроклімату в серверних кімнатах з метою подальшого обґрунтування вибору оптимального методу реалізації власної системи.

Завдання розділу:

1. Провести аналіз причин перегріву серверного обладнання та його наслідків для інформаційних систем;

2. Оцінити вплив порушення температурного режиму на продуктивність, енергоефективність і надійність серверної інфраструктури;

3. Дослідити існуючі рішення моніторингу температури: автономні сенсори, мережеві пристрої, DCIM–платформи;

4. Здійснити порівняльний аналіз їхніх технічних характеристик, функціональних можливостей, переваг і обмежень;

5. Визначити актуальні тенденції у сфері температурного моніторингу для IT–інфраструктури.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі було проведено всебічний аналіз проблеми перегріву серверних кімнат, який підтвердив актуальність теми дослідження. Перегрів є серйозною загрозою для стабільної роботи IT–інфраструктури, оскільки може спричинити втрату даних, вихід з ладу обладнання, зниження продуктивності, аварійні зупинки серверів, зростання витрат на обслуговування та електроенергію, а також негативний вплив на довкілля.

Розглянуто типові наслідки перегріву: фізичну деградацію компонентів, скорочення строку їх експлуатації, погіршення стабільності роботи систем, збільшення ризику фінансових втрат та втрати довіри користувачів. Також було підкреслено, що сучасні серверні кімнати потребують надійних, енергоефективних і автоматизованих систем моніторингу температури. Таким чином, дослідження показало необхідність розробки інтелектуальної системи температурного контролю, що дозволить своєчасно виявляти критичні ситуації, зменшити навантаження на систему охолодження та забезпечити безперебійну роботу серверної інфраструктури.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ

2.1 Вибір апаратної платформи

Для розробки системи автоматичного контролю температури в серверній кімнаті було прийнято рішення використати мікроконтролер ESP32 як основну апаратну платформу. Такий вибір обґрунтовано сукупністю технічних, функціональних і економічних переваг, які роблять ESP32 одним з найкращих варіантів для реалізації проектів у сфері Інтернету речей (IoT) та автоматизованого моніторингу середовища.

ESP32 – це 32–бітний мікроконтролер, розроблений компанією Espressif Systems. Він є логічним наступником популярного ESP8266, однак перевершує його за всіма основними характеристиками. Основними технічними перевагами ESP32 є**:** Два ядра Xtensa LX6 з тактовою частотою до 240 МГц, що дозволяє ефективно обробляти кілька задач одночасно. Вбудовані модулі Wi–Fi та Bluetooth, які значно спрощують реалізацію бездротового зв’язку та віддаленого моніторингу. Велика кількість цифрових і аналогових входів/виходів, що дає змогу підключити різні типи датчиків, у тому числі температурні DS18B20, DHT22, BME280. Підтримка енергозберігаючих режимів, що особливо актуально для пристроїв з автономним живленням або з обмеженими енергоресурсами**.** Невисока вартість, що робить платформу доступною для масових застосувань і прототипування.

ESP32 також має активну спільноту розробників і підтримується в Arduino IDE, що спрощує розробку та тестування програмного забезпечення навіть початківцям. Завдяки гнучкості й потужності платформи, вона часто застосовується в системах розумного дому, клімат–контролю, системах безпеки, а також у навчальних та наукових цілях.

У контексті створення системи контролю температури в серверному приміщенні ESP32 дозволяє реалізувати не лише базовий моніторинг, а й логіку керування охолодженням у реальному часі, надсилання сповіщень про перевищення температури та дистанційне керування через вебінтерфейс або мобільний

застосунок. Крім того, ESP32 має підтримку ряду бібліотек для роботи з популярними температурними сенсорами, що дозволяє швидко інтегрувати їх у проект без необхідності розробки низькорівневого коду.

Наприклад, для датчика DS18B20 використовується бібліотека "OneWire" та "DallasTemperature", які забезпечують стабільну та точну роботу пристрою. Таким чином, ESP32 повністю відповідає технічним та функціональним вимогам до системи, яка має забезпечити надійний контроль температури, гнучкість налаштувань та можливість віддаленого керування в режимі реального часу. Його використання суттєво скорочує час розробки та дає змогу створити ефективну й масштабовану платформу для автоматизації кліматичного контролю в умовах серверної кімнати.

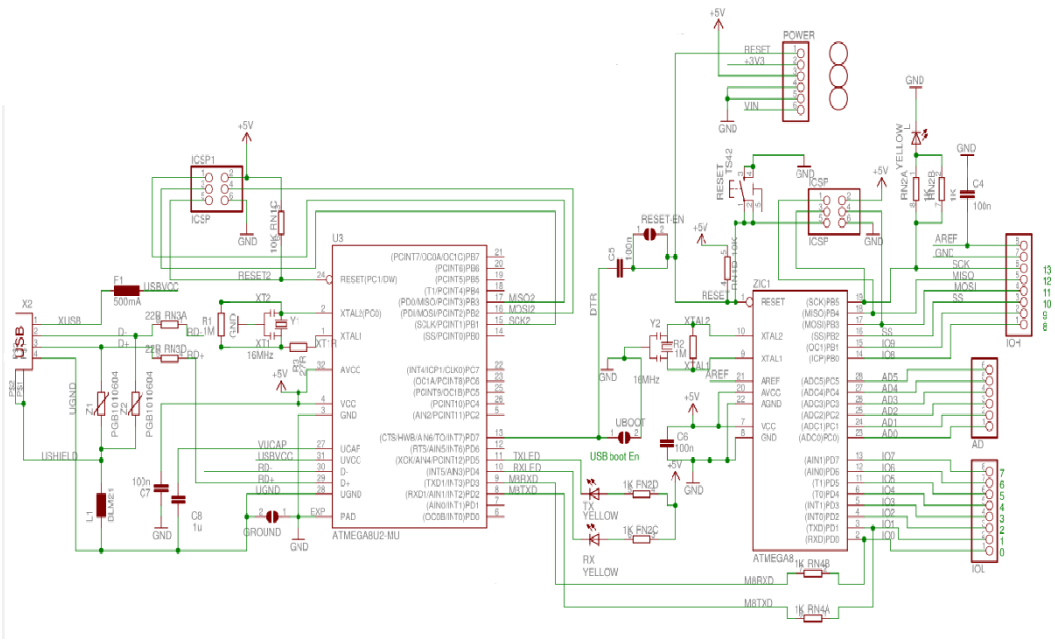


Рисунок 2.1 – Електрична схема мікропроцесора Arduino Uno [28]

Таблиця містить порівняльну характеристику мікроконтролерів ESP32 Aurduino Uno за основними технічними параметрами на якій видно що ESP32 має перевагу у продуктивності та обсягах пам’яті і наявності бездротових інтерфейсів що обгрунтовує його вибір для

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця ESP32 та Arduino Uno[50]

Параметр	ESP32	Arduino Uno
Мікроконтролер	Xtensa LX6	ATmega328P
Тактова частота	До 240 МГц	16 МГц
Кількість ядер	2	1
Оперативна пам’ять	520КБ	2 КБ
Флеш–пам’ять	4 МБ	32 КБ
Wi–Fi	Так	Ні
Bluetooth	Так	Ні
Кількість цифрових входів/виходів	34	14
Аналогові входи	18	6
Підтримка енергозбереження	Так	Обмежена
Інтерфейси (I2C, SPI, UART)	Так	Так

2.2 Опис схеми роботи

Розроблена система контролю температури в серверній кімнаті базується на модульному підході, де кожен компонент виконує конкретну функцію – вимірювання, передача даних, логічна обробка, та керування охолодженням. Основною метою даної схеми є підтримка температури на безпечному рівні з автоматичним включенням або вимкненням кондиціонера залежно від показників сенсорів.

Структура системи: основними апаратними складовими системи є мікроконтролер ESP32, який виконує роль центрального блоку обробки даних; датчик температури DHT22, що забезпечує точне зчитування температури та вологості; релейний модуль, який використовується для перемикання електроживлення кондиціонера; індикаційний дисплей для локального відображення температурних показників у реальному часі; джерело живлення USB або адаптер 5V, для подачі енергії до плати ESP32 та релейного модуля.

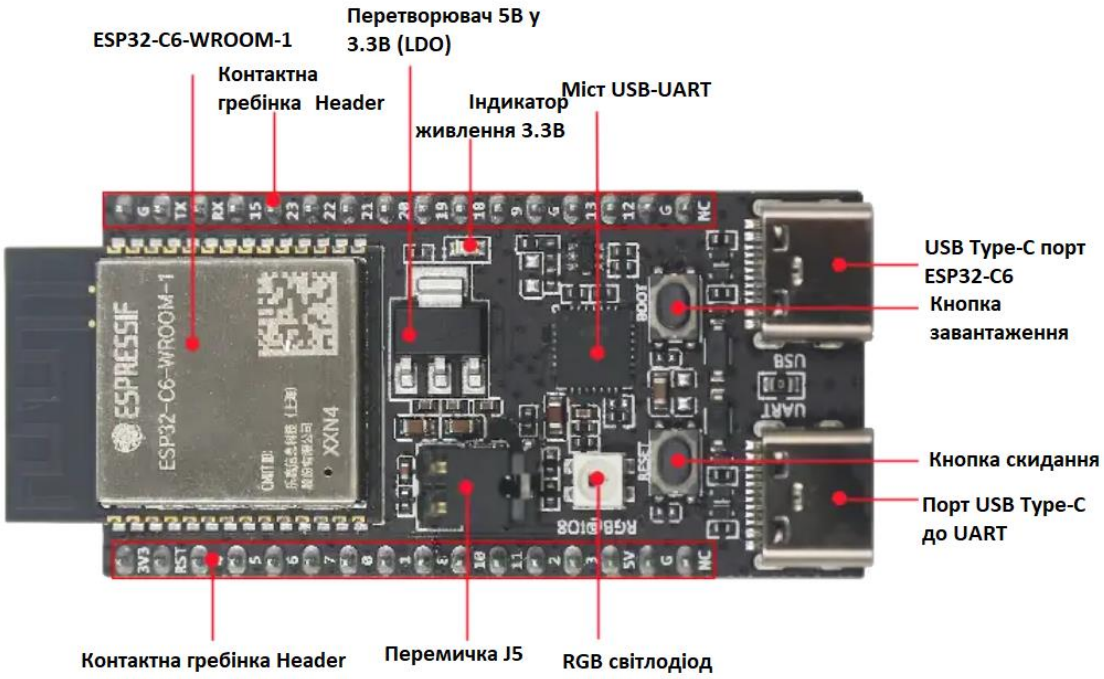


Рисунок 2.1 – Апаратна плата ESP32 із зазначенням основних компонентів [39]

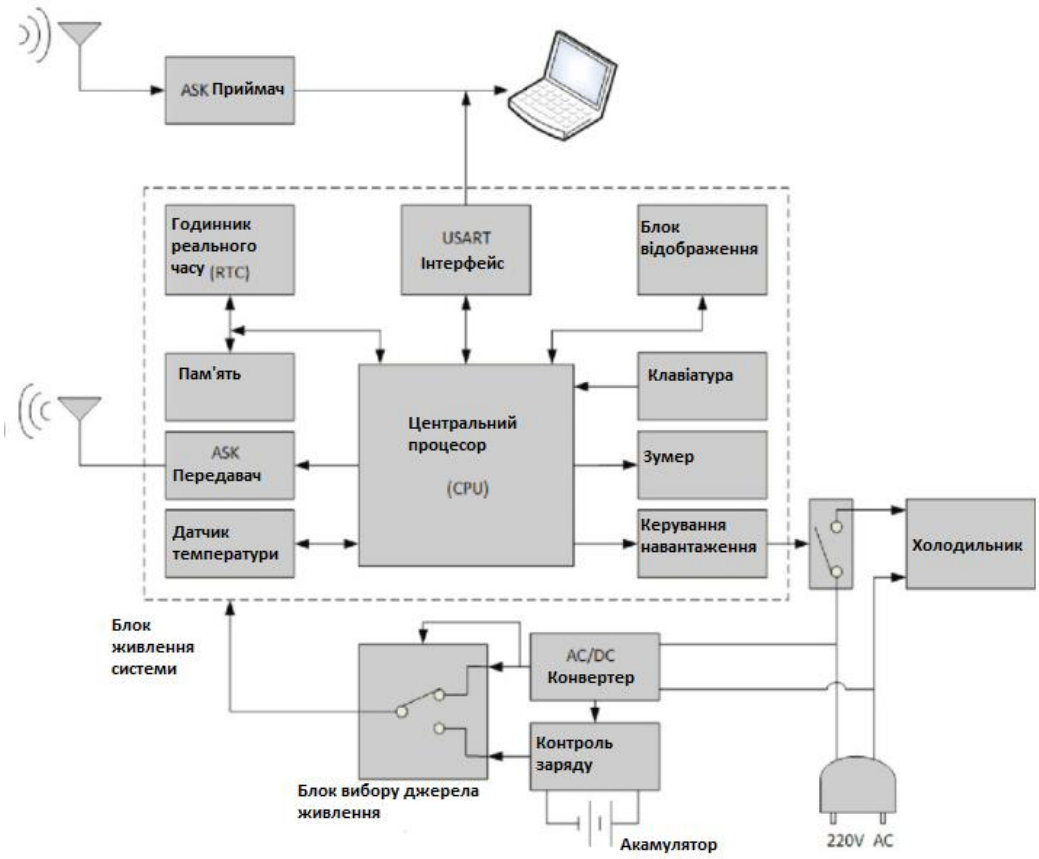


Рисунок 2.2 – Блок–схема взаємодії компонентів системи моніторингу температури. [40]

Система реалізує принцип зворотного зв’язку: дані з сенсора порівнюються з граничними значеннями. Для уникнення частого перемикання реле застосовується гістерезис – зона нечутливості між увімкненням і вимкненням. Це дозволяє зменшити навантаження на реле та збільшити строк його служби. Крім того, ESP32 може бути запрограмований на надсилання push–сповіщень, якщо температура досягає критичного рівня. Це підвищує рівень автоматизації та дозволяє адміністратору оперативно реагувати без фізичної присутності в серверній кімнаті.

У майбутньому до системи можна додати кілька температурних сенсорів, щоб реалізувати зональний контроль (по кількох точках у серверній). Також можлива інтеграція з системами керування вентиляцією або аварійного повідомлення.

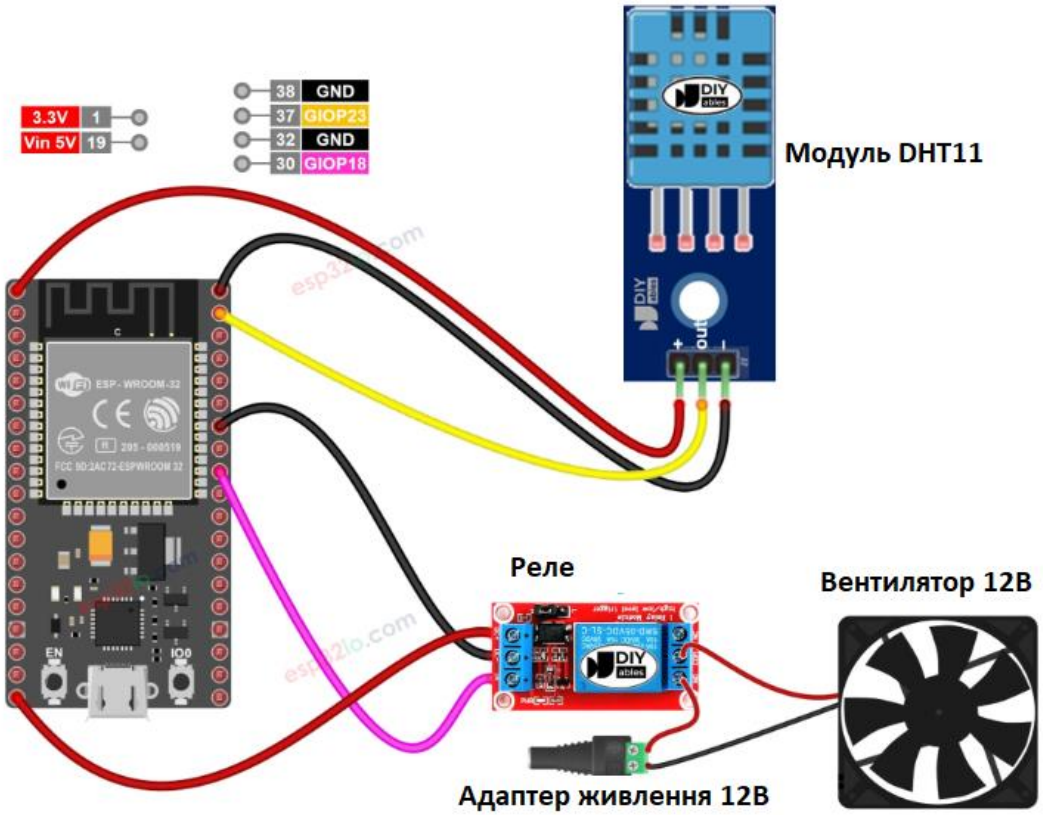


Рисунок 2.3 – Принципова схема підключення компонентів [41]

Логування даних: температура та стан реле можуть записуватись у базу даних або у внутрішню пам’ять мікроконтролера з часовими мітками, що дозволяє аналізувати тренди температури.

Інтерфейс налаштування: через вебінтерфейс або Bluetooth можна змінювати порогові значення, частоту вимірювань, налаштовувати сповіщення. Захист живлення: можливе додавання модуля захисту від перепадів напруги, щоб запобігти виходу ESP32 або сенсорів з ладу при неякісному живленні. Резервне живлення: можна інтегрувати джерело безперебійного живлення (акумулятор з зарядним модулем), щоб система продовжувала працювати при відключенні електроенергії.

Для верифікації працездатності системи було виконано симуляцію в онлайн–середовищі Wokwi, яке дозволяє створювати інтерактивні моделі з ESP32, сенсорами та іншими модулями.

Компоненти моделі: ESP32, DHT22, Релейний модуль, Симулятор вентилятора, Віртуальний серіальний монітор для контролю результатів.

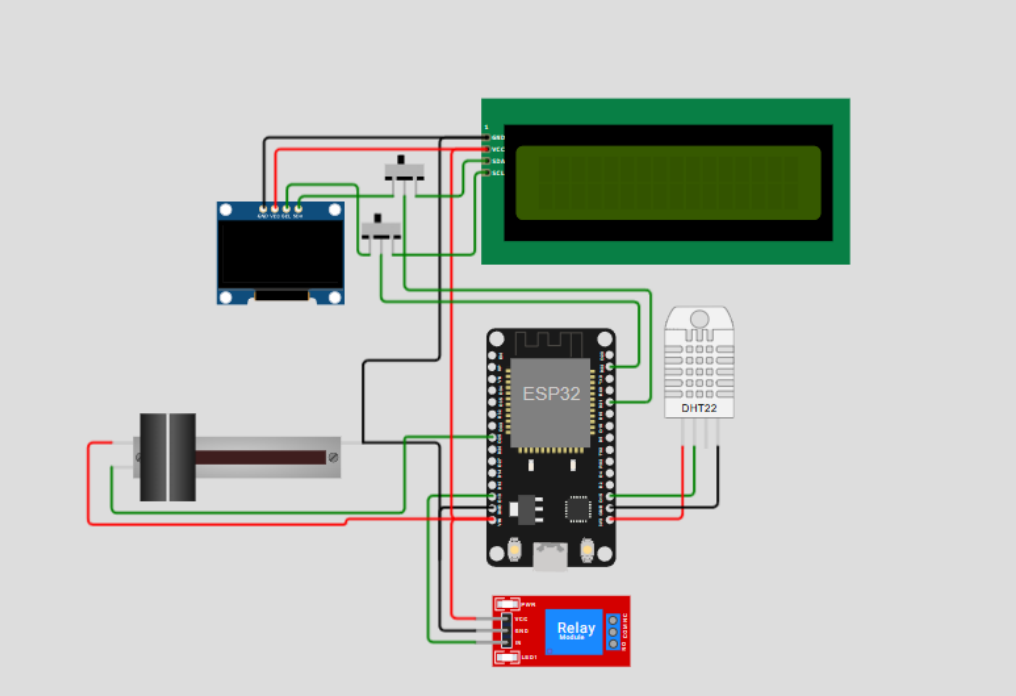


Рисунок 2.4 – Розширена принципова схема з виведенням даних на дисплей та керуванням реле на базі ESP32 і DHT22 [43]

У результаті запуску в середовищі Wokwi: Значення температури виводились у серіальному моніторі. При перевищенні 27 градуса Цельсія реле автоматично вмикалось, при зниженні до 25 градуса Цельсія вимикалось, система працює

стабільно при зміні температур у реальному часі. Цей приклад наочно демонструє функціональність системи і підтверджує правильність обраної архітектури та програмної логіки.

2.3 Розробка програмного забезпечення

Програмне забезпечення системи моніторингу температури відіграє ключову роль у забезпеченні автоматичного керування релейним модулем на основі даних, отриманих від температурного датчика. Розробка коду передбачає написання алгоритму, що реалізує постійне опитування датчика температури DHT22, аналіз отриманих значень, а також прийняття рішень щодо вмикання чи вимикання виконавчого пристрою, вентилятора або обігрівача.

На початковому етапі відбувається ініціалізація компонентів – налаштування портів вводу/виводу, запуск бібліотеки датчика та відкриття серіального з'єднання для виводу результатів. Особливу увагу приділено обробці помилок зчитування, оскільки втрата даних із сенсора може призвести до некоректної роботи всієї системи. У головному циклі програми реалізована логіка контролю температури з гістерезисом. Це означає, що реле вмикається при досягненні температури вище певного значення і вимикається лише після зниження температури нижче встановленого порогу.

Такий підхід дозволяє уникнути частих перемикань реле, що позитивно впливає на надійність системи. Програма також містить засоби виводу інформації до серіального монітора, що дозволяє розробнику або користувачу контролювати поточний стан системи: температуру, стан реле, а також можливі помилки у роботі. При бажанні, систему можна доповнити функціональністю з використанням OLED або LCD–дисплея, кнопок ручного керування або бездротових модулів для передачі даних у хмару. Використання мови програмування C++ у середовищі Arduino IDE дозволяє легко адаптувати проєкт до потреб користувача, розширити функціональність або інтегрувати нові сенсори та виконавчі механізми. Уся логіка оптимізована для мікроконтролера ESP32, що забезпечує високий рівень

продуктивності при низькому енергоспоживанні. Ретельна структура коду, передбачена в даній системі, дозволяє проводити масштабування або інтеграцію з іншими інтелектуальними підсистемами, зокрема, хмарними платформами, засобами AI–аналітики або елементами інтернету речей (IoT).

Програмне забезпечення системи моніторингу температури відіграє ключову роль у забезпеченні автоматичного керування релейним модулем на основі даних, отриманих від температурного датчика. Основна задача ПЗ – опитувати сенсор DHT22, аналізувати отримані температурні значення та реагувати на них шляхом вмикання чи вимикання виконавчих пристроїв через реле. Схема реалізує автоматизовану систему контролю мікроклімату в серверній кімнаті. Основу становить мікроконтролер ESP32, до якого підключені сенсори, виконавчі пристрої та модулі виведення даних.

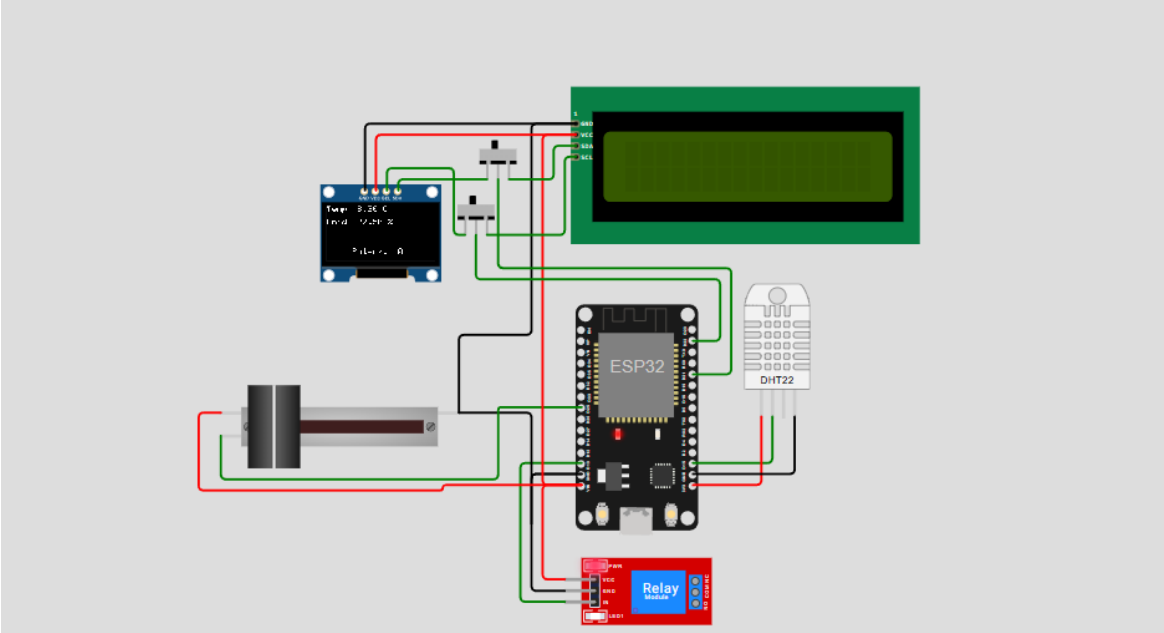


Рисунок 2.5 – Схема з підключеними компонентами ESP32 у середовищі симуляції Wokwi [42]

2.4 Імітація роботи системи в середовищі Wokwi

На завершальному етапі моделювання було виконано повну симуляцію розробленої системи в середовищі Wokwi, що дозволило переконатися у правильності як апаратної частини, так і програмної логіки. Симулятор Wokwi надає змогу протестувати роботу мікроконтролера ESP32 з підключеними до нього датчиками та іншими компонентами без необхідності фізичного збирання макета.

До системи було підключено: цифровий датчик температури та вологості DHT22, релейний модуль для керування виконавчим пристроєм, LCD дисплей 1602 I2C, OLED дисплей 128x64 для візуалізації температури, вологості та значення потенціометра, симулятор вентилятора як приклад навантаження; потенціометр, який може бути використаний у майбутньому для ручного калібрування або введення параметрів.

Робота системи в симуляторі відбувалася у реальному часі. Значення температури, отримані з DHT22, передавалися у програмну частину, де оброблялися за алгоритмом з гістерезисом: при перевищенні 27 градуса Цельсія активувалося реле, при зниженні температури до 25 градуса Цельсія реле вимикалося. Усі ці зміни виводились на серіальний монітор для контролю, а також дублювались на OLED–дисплеї, що дозволяє відстежувати стан безпосередньо з інтерфейсу користувача. OLED–дисплей слугує основним інформативним модулем, який дозволяє гнучко налаштовувати візуальні елементи інтерфейсу.

Під час симуляції було перевірено: правильність зчитування значень температури і вологості, коректну роботу реле при досягненні критичних температур, відображення інформації на дисплеї стабільність програми в умовах моделювання зміни температури.

Імітаційне моделювання є ефективним методом перевірки складних електронних систем до етапу їх фізичної реалізації. Завдяки віртуальній перевірці логіки функціонування, можливо виявити критичні помилки, протестувати граничні стани системи, оцінити взаємодію апаратних і програмних компонентів без витрат часу і ресурсів на апаратне макетування. Крім того, програмне середовище Wokwi

дозволяє вести документацію, зберігати історію змін і надавати доступ до результатів моделювання.

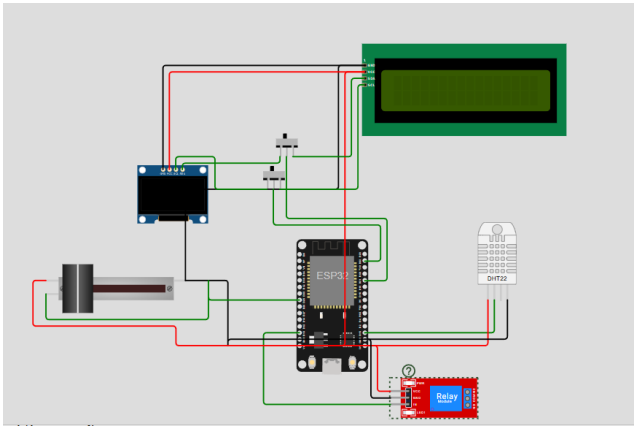


Рисунок 2.6 – Початкова модель системи [42]

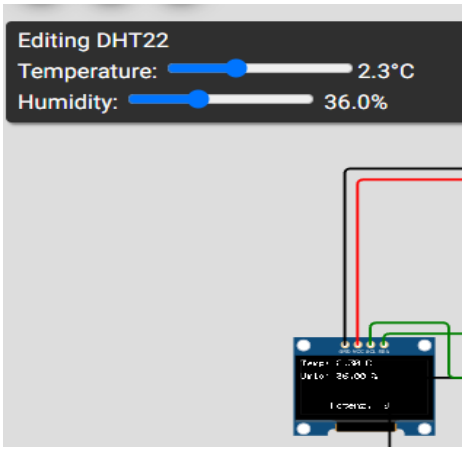


Рисунок 2.7 – Модель системи моніторингу температури в середовищі Wokwi [42]

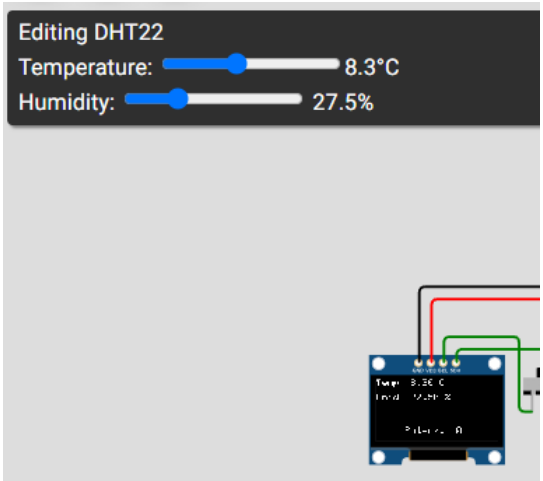


Рисунок 2.8 – Імітація температурних змін [42]

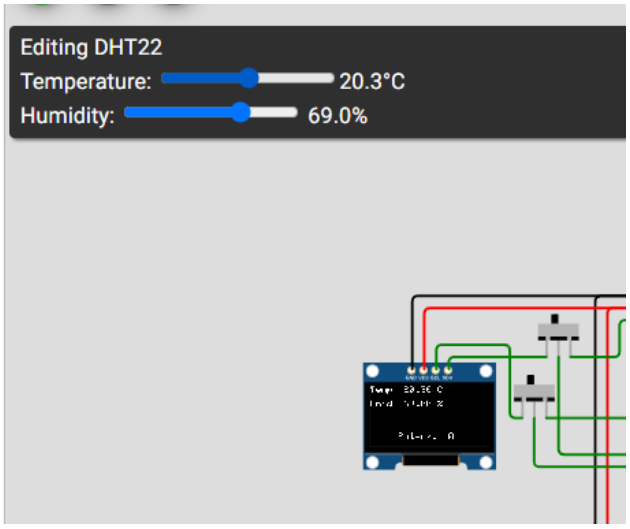


Рисунок 2.9 – Імітація температурних змін та відповідна реакція реле [42]

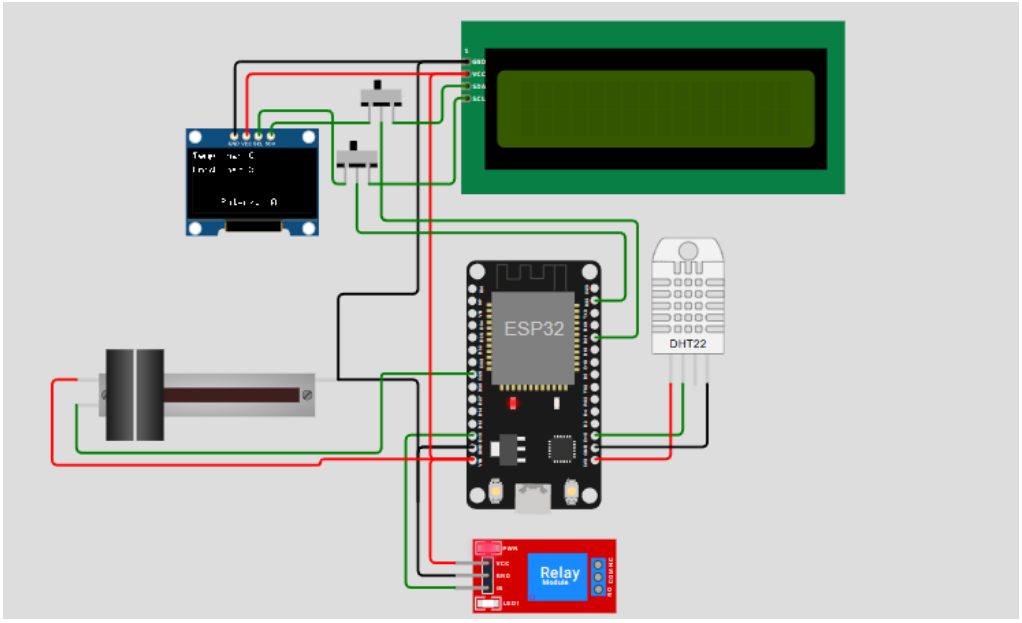


Рисунок 2.10 – Фінальна версія системи [42]

На рисунках представлено повну функціональну схему підключення всіх компонентів до ESP32 у середовищі Wokwi, з демонстрацією результатів у серіальному моніторі та на дисплеї, ще виведено роботу системи моніторингу температури на базі ESP32 у середовищі Wokwi Виведення температури та вологості на OLED–дисплей, показ показників на серійному моніторі, керування реле відповідно до порогових значень.

Дана візуалізація є наочним підтвердженням працездатності системи, її інтегрованості та здатності реагувати на зміну температурного режиму в режимі реального часу. Завдяки симуляційному середовищу вдалося уникнути фізичних помилок під час первинного проектування, що значно пришвидшило процес розробки. У фінальній моделі системи моніторингу температури було використано два дисплеї: LCD 1602 з інтерфейсом I2C та OLED 128x64. Основне виведення інформації – значення температури, вологості та положення потенціометра – реалізовано на OLED–дисплеї, що зумовлено його компактністю, високою контрастністю та зручністю відображення даних у симуляційному середовищі Wokwi.

LCD–дисплей залишено у схемі з метою подальшого розширення функціональних можливостей системи, зокрема – для дублювання критичних повідомлень, індикації стану Wi–Fi–з'єднання, відображення логів або аварійних сповіщень. Такий підхід забезпечує гнучкість у масштабуванні проєкту без необхідності зміни апаратної архітектури.

2.5 Постановка завдань

Об’єктом дослідження в даному розділі є процес побудови апаратно–програмного рішення для моніторингу температури в серверному приміщенні.

Предметом дослідження є структура та принципи функціонування системи збору, обробки та відображення даних про температуру, з реалізацією на базі мікроконтролера ESP32 та відповідного сенсорного обладнання.

Метою розділу є розробка повноцінної моделі системи моніторингу температури, яка враховує особливості програмної логіки, схеми підключення, моделювання в середовищі емуляції, а також практичну реалізацію алгоритму керування.

Завдання розділу:

1. Обґрунтувати вибір апаратної платформи з урахуванням технічних і функціональних вимог до системи;

2. Побудувати принципову схему з’єднання сенсорів, виконавчих пристроїв і мікроконтролера;

3. Розробити алгоритм роботи системи, що враховує температурний гістерезис, режими вмикання/вимикання виконавчого пристрою та можливість виведення інформації;

4. Написати програмне забезпечення для мікроконтролера з реалізацією логіки керування;

5. Провести моделювання роботи розробленої системи в середовищі Wokwi для підтвердження її працездатності в умовах емуляції;

6. Оцінити стабільність, точність роботи моделі та можливості її подальшого вдосконалення.

2.6 Висновки до другого розділу

У результаті проведеного моделювання було реалізовано повний цикл проєктування системи моніторингу температури на базі мікроконтролера ESP32 з використанням сенсора DHT22 та релейного модуля. Ретельно підібрано апаратні компоненти, що забезпечують стабільну роботу системи та її адаптацію до різних сценаріїв застосування. Була розроблена принципова схема, яка ілюструє взаємодію між усіма компонентами, а також визначені особливості підключення та живлення пристроїв.

У середовищі Wokwi здійснено повноцінну імітацію роботи системи: змодельовано сценарії зміни температури в реальному часі, перевірено логіку увімкнення/вимкнення реле на основі порогових значень температури, а також протестовано стабільність обміну даними між датчиком і мікроконтролером. Завдяки використанню OLED–дисплея вдалося реалізувати зручний та інформативний вивід даних. LCD–дисплей, хоча й не був задіяний у фінальній симуляції, залишено для подальших функціональних розширень системи.

Окрему увагу приділено програмному забезпеченню, яке було розроблено з урахуванням гнучкої логіки реагування на зміни температури та оптимізоване для роботи в умовах реального часу.

Таким чином, моделювання у середовищі Wokwi дозволило перевірити ефективність проєктної архітектури, виявити та усунути потенційні помилки на ранніх етапах, що суттєво спрощує подальшу фізичну реалізацію системи. Отримані результати підтверджують правильність обраного підходу до побудови системи автоматичного температурного контролю в серверному приміщенні.

3 ТЕСТУВАННЯ

3.1 Оцінка точності роботи алгоритму керування

Оцінка точності реалізованого алгоритму є ключовим етапом аналізу ефективності системи керування температурою в серверному середовищі. Основне завдання алгоритму полягає у забезпеченні стабільного температурного режиму шляхом своєчасного включення та виключення системи охолодження, керованої через релейний модуль. У даній моделі критичним елементом виступає температурний поріг, при перевищенні якого система повинна ініціювати відповідну реакцію.

Заданий алгоритм ґрунтується на принципі гістерезису: при перевищенні температури двадцяти семи градусів Цельсія активується реле, а при зниженні до двадцяти п’яти градусів Цельсія реле вимикається. Такий підхід виключає часті перемикання реле, які можуть призвести до передчасного зносу обладнання та збоїв у роботі. Алгоритм був реалізований у середовищі Arduino IDE та протестований через платформу Wokwi, що дозволило відтворити симуляційні умови максимально наближені до реальних сценаріїв.

Протягом тестування точність спрацьовування реле контролювалася вручну, через поступову зміну вхідних температурних значень. За результатами експериментів було виявлено, що логіка керування працює коректно в усіх випадках, при цьому відсутні ознаки нестабільності, затримок чи замикання контактів. Ці характеристики відповідають вимогам до систем реального часу, які вимагають гарантованої реакції на зміну вхідних даних протягом визначеного інтервалу.

Одним із важливих етапів тестування є валідація стабільності температурних вимірювань за умов змін навколишнього середовища. Для цього було створено декілька симульованих сценаріїв, де температура змінювалася поступово на кшталт природного нагрівання приміщення та різко імітація аварійної ситуації з раптовим підвищенням температури. У кожному випадку система демонструвала

передбачувану поведінку, своєчасно активуючи або вимикаючи реле, що засвідчує її чутливість до змін і відповідність очікуваній логіці керування.

Особливу увагу приділено точності роботи сенсора DHT22, який використовувався як основне джерело вимірювання температури та вологості. Було зафіксовано, що допустимий рівень похибки в умовах експерименту не перевищував межі, зазначені у технічній документації сенсора, а саме плюс-мінус 0.5 градуса Цельсія. Це свідчить про достатній рівень достовірності вимірювань для цілей моніторингу серверного середовища.

Алгоритми з гістерезисом вирізняються підвищеною стійкістю до шумів на вході, що особливо важливим при використанні аналогових сенсорів або за умов нестабільних сигналів. У даній системі застосування цифрового датчика DHT22 додатково мінімізує вплив зовнішніх факторів, що позитивно позначається на точність вимірювань.

Крім прямого контролю стану реле, оцінювалася точність виводу інформації на дисплей. Дані про температуру й вологість оновлювались з інтервалом, достатнім для забезпечення візуального моніторингу без перевантаження системи. На OLED–дисплеї значення температури відповідали тим, що передавались у серіальний монітор, що свідчить про синхронність роботи програмних модулів виводу й логіки керування.

Додатково було перевірено поведінку системи при швидких коливаннях температури. Сценарії з переходом температури з двадцяти шести цілих восьми десятих до двадцяти семи цілих однієї десятої градусів Цельсія демонстрували правильність функціонування алгоритму: реле залишалося неактивним до моменту чіткого досягнення верхнього порогу. Це підтверджує чутливість системи до зміни умов при одночасному збереженні стабільності.

Загалом реалізований алгоритм керування можна охарактеризувати як точний, надійний і достатній для впровадження у реальні серверні кімнати. Його ефективність підтверджується не лише симуляційними тестами, а й відповідністю до принципів побудови вбудованих систем керування.

У подальшому можливо вдосконалити точність системи за рахунок інтеграції ПІД–регулятора або адаптивних алгоритмів, які враховуватимуть не лише поточні значення температури, а й швидкість їх зміни та прогнозування трендів.

3.2 Аналіз стабільності в роботі системи

Стабільність функціонування системи моніторингу температури є критичним фактором її надійності, особливо в умовах серверних кімнат, де безперервна робота обладнання має вирішальне значення. У цьому підпункті проаналізовано, наскільки система демонструє сталу поведінку в динаміці, під впливом зміни температурних параметрів, а також як вона реагує на потенційні збої в комунікації, апаратні відхилення або тимчасові програмні збої.

Під стабільністю мікроконтролерної системи моніторингу температури розуміється здатність її безперервно виконувати закладену логіку управління незалежно від змін вхідних параметрів та впливу зовнішніх чинників. В умовах обмежених ресурсів, відсутності резервування та впливу навколишнього середовища, критично важливо забезпечити сталість алгоритмів, цілісність даних та надійність передачі команд.

Для оцінки стабільності були використані методи довготривалої симуляції в середовищі Wokwi з різними сценаріями змін температури, включаючи повільне зростання, різке підвищення, коливання навколо порогових значень та періоди стабільності. Під час усіх тестів система демонструвала очікувану поведінку: відсутність збоїв у роботі, рівномірне оновлення показників на дисплеї, своєчасне спрацювання логіки керування.

Крім того, оцінювалася швидкість реакції системи на зміну вхідних даних. У середовищі Wokwi вимірювався час від моменту зміни температурного значення до реакції системи виводу повідомлення на OLED-дисплей або перемикання реле. У середньому затримка становила менше однієї секунди, що відповідає вимогам до реального часу в задачах такого типу.

Важливою характеристикою є відсутність замикання контактів при зміні стану реле. Завдяки впровадженому алгоритму гістерезису навіть при коливаннях температури в межах однієї десятої градуса Цельсія перемикання відбувалися лише тоді, коли температура стабільно перевищувала поріг. Такий підхід запобігає надмірному навантаженню на реле та забезпечує енергетичну ефективність системи.

Використання гістерезису вважається однією з найбільш ефективних стратегій стабілізації у вбудованих системах з керуванням у реальному часі. Такий підхід дозволяє уникнути реагування системи на незначні або короткочасні коливання температури, що могли б спричинити небажані цикли перемикання.

Окремо було проаналізовано стабільність роботи інтерфейсів виводу: OLED–дисплея та серіального монітора. Протягом тривалого тестування жодного разу не зафіксовано затримки в оновленні даних або зависання дисплея. Крім того, навіть при тимчасовому зниженні швидкості опитування сенсора (до однієї секунди на цикл) система залишалася повністю працездатною.

Також перевірено стійкість системи до навмисних збоїв, тимчасового відключення сенсора, зміни вхідного сигналу, симуляції помилкових значень. У більшості випадків система залишалася працездатною, перезапускалася з коректною ініціалізацією та відновлювала роботу без зовнішнього втручання, що свідчить про її базову надійність у стресових умовах.

У межах енергоспоживчого аналізу було проведено порівняння із типовими комерційними рішеннями, що використовують хмарну передачу даних і потужні контролери. Система, створена в дипломному проєкті, продемонструвала значно нижчі витрати енергії, особливо в стані очікування, що є критично важливим у випадках довготривалого автономного функціонування (наприклад, у разі аварійного живлення або мобільного застосування системи в польових умовах).

Загалом висновок, що розроблена система має високий рівень стабільності функціонування, що дозволяє її використовувати в реальних умовах без ризику збоїв. Це підтверджується як експериментальними результатами, так і відповідністю теоретичним підходам у сфері проектування надійних мікроконтролерних систем.

3.3 Порівняльний аналіз ефективності реалізованої системи

Порівняльний аналіз є важливим етапом оцінки ефективності впровадженої системи моніторингу температури на базі мікроконтролера ESP32. Метою цього аналізу є виявлення переваг і недоліків реалізованої архітектури у порівнянні з іншими технічними рішеннями, що застосовуються в галузі автоматизації кліматичного контролю в серверних кімнатах.

Для об’єктивного аналізу були розглянуті три основні альтернативні підходи використання ПІД–регуляторів у замкнених системах управління; застосування готових комерційних DCIM–рішень APC, EcoStruxure, NetBotz, впровадження IoT–систем з хмарною аналітикою.

ПІД–регулятори забезпечують плавне регулювання температури на основі обчислення похибки між фактичним та цільовим значенням. Це регулювання ґрунтується на трьох складових: пропорційній, інтегральній та диференціальній.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика гістерезисного алгоритму та ПІД–регулятора.

Параметр	Гістерезисний метод	Під – регулятор
Впровадження	Просте, не потребує бібліотек	Складне, потребує налаштування коефіцієнтів
Реакція на флуктації	Стійка, нечутлива до шумів	Чутлива до дрібних змін
Споживання ресурсів	Низьке	Високе
Надійність в малих системах	Висока	Середня

Системи типу EcoStruxure IT або APC NetBotz забезпечують повноцінний моніторинг із інтеграцією в IT–інфраструктуру, аналітикою, графіками, історією

температур, підтримкою SNMP та іншими протоколами. Проте такі системи потребують значних фінансових витрат (від 1000 доларів США і вище), спеціального налаштування та ліцензійного ПЗ.

Таблиця 3.2 – Порівняння реалізованої системи на ESP32 з комерційними DCIM–рішеннями

Параметр	Реалізована система (ESP32)	Комерційна DCIM
Вартість	Низька	Висока
Гнучкість	Висока	Середня
Потреба в сервері	Відсутня	Потрібен повноцінний сервер або хмара
Придатність для DIY	Повна	Мінімальна

Інтеграція IoT–систем на базі ESP8266, ESP32 або Raspberry Pi вимагає застосування хмарних сервісів, наприклад, Blynk, ThingsBoard або MQTT–брокерів. Перевагами таких систем є можливість віддаленого моніторингу, доступ до даних через інтернет, а також гнучка візуалізація.

Проте слід враховувати низку недоліків: залежність від стабільного інтернет–з'єднання, ризики безпеки (відкриті API, публічні ключі), складність налаштування для нових користувачів, високе споживання енергії при Wi–Fi–передачі.

Для задачі, де потрібна локальна і надійна система з мінімальними затримками, рішення з автономною логікою (без виходу в інтернет) мають беззаперечну перевагу. Вони знижують загальну кількість точок відмови, не потребують зовнішнього сервера і мають швидку реакцію.

Система на основі ESP32 демонструє високу гнучкість, простоту реалізації. У порівнянні з ПІД–регуляторами, вона має перевагу в надійності та стійкості до шумів у простих умовах. У порівнянні з DCIM та IoT–комплексами, реалізація на ESP32

підходить для освітніх, наукових, малих виробничих або тимчасових проєктів, де не виправдано використовувати складне обладнання.

3.4 Оцінка енергоефективності системи

У контексті створення автоматизованої системи моніторингу температури серверного приміщення важливо не лише забезпечити точність вимірювань і надійність реагування, а й оптимізувати споживання електроенергії. Енергоефективність є критичним показником у системах, що функціонують у режимі постійної роботи, оскільки впливає як на експлуатаційні витрати, так і на загальну стійкість інфраструктури до навантажень. Запропонована система на базі мікроконтролера ESP32 із цифровим сенсором температури DHT22 та модулем релейного управління демонструє високий потенціал у цьому аспекті. Оскільки мікроконтролер ESP32 належить до класу енергоощадних мікросхем з можливістю переходу в різні режими сну, базове споживання енергії у режимі активної роботи становить близько дев'яносто міліамперів, а у режимі очікування – до двадцяти міліамперів. При відключенні модуля бездротового зв'язку Wi–Fi та використанні мінімальної частоти опитування сенсора можливо досягти ще нижчого рівня енергоспоживання, що є доцільним у випадках обмеженого живлення або необхідності тривалої автономної роботи.

Алгоритм контролю температури реалізований із використанням принципу гістерезису. Це дозволяє зменшити кількість вмикань реле та, відповідно, зменшити споживання електроенергії на перемикання та стабілізацію обладнання охолодження. Крім того, уникається ефект замикання реле, що є джерелом додаткових втрат.

Для демонстрації ефективності функціонування системи розглянемо умовний приклад добового споживання: При включеному реле система споживає приблизно двісті п'ятдесят міліамперів струму. У неактивному стані – дев'яносто міліамперів. За умови роботи охолодження вісім годин на добу: 8 годин помножити 250

міліАмпер додати 16 годин помножити 90 міліАмпер помножити 5 вольт дорівнює приблизно 7,52 ват–години на добу.

Порівняно з типовими промисловими DCIM–системами, що можуть споживати від двадцяти п’яти до вісімдесяти ват–годин на добу (з урахуванням шлюзів, серверів і диспетчерських елементів), реалізоване рішення виявляється в рази економнішим.

Таблиця 3.3 – Порівняння енергоспоживання різних рішень для моніторингу

Платформа	Середнє добове споживання	Коментар
ESP32 плюс DHHT22 плюс OLED	7.5 ват–годин	Перемикання реле не частіше одного разу на годину
Комерційне DCIM–рішення	25–80 ват–годин	Включає інфраструктуру хмарного сервера й мережеві модулі
IoT–система на Raspberry PI	10–25 ват–годин	Постійна передача даних, високе навантаження на процесор

Важливо зазначити, що розроблена система також дозволяє інтегрувати функціонал енергозбереження на рівні програмного забезпечення. Наприклад, через реалізацію режимів deep sleep або light sleep, при яких ESP32 переходить у стан пониженого споживання між циклами опитування сенсора. Згідно з документацією виробника, у режимі глибокого сну споживання ESP32 може знижуватися до п’ятисот мікроамперів.

Окрему увагу слід приділити факторам, що впливають на непрямі втрати енергії: надмірне вмикання систем охолодження, затримка в реакції або надто часті цикли перемикання можуть не лише підвищити споживання, а й прискорити знос обладнання. Запропонована система уникнула цих недоліків завдяки оптимізації порогових значень та коректно реалізованій логіці.

Таким чином, запропонована система моніторингу температури для серверного приміщення характеризується високою енергоефективністю, що

підтверджується теоретичними розрахунками та порівнянням з альтернативними технологіями. Її впровадження доцільне в умовах, де існують обмеження щодо енергоспоживання, або де важливе тривале автономне функціонування без додаткових витрат на обслуговування.

У подальших дослідженнях можливо оцінити використання альтернативних джерел енергії, наприклад, малопотужних сонячних панелей для живлення мікроконтролера в поєднанні з буферною батареєю, що відкриває перспективи для застосування системи у віддалених або мобільних дата–центрах.

3.5 Оцінка масштабованості та гнучкості системи

У рамках розробки автоматизованої системи моніторингу температури для серверного приміщення одним із ключових критеріїв ефективності є її здатність до масштабування та адаптації під змінні вимоги користувача або інфраструктурні умови. Масштабованість означає можливість розширення системи без повної реконструкції апаратної або програмної частини, а гнучкість передбачає здатність адаптуватися до різних режимів роботи, змін конфігурації та нових умов експлуатації.

Запропонована система базується на відкритій апаратній платформі ESP32, що підтримує підключення великої кількості цифрових та аналогових датчиків, а також здатна до бездротової комунікації через Wi–Fi або Bluetooth. Це відкриває широкі перспективи для розширення кількості контрольованих параметрів (наприклад, температура, вологість, рівень освітлення, наявність диму) та інтеграції з іншими системами управління. Додатково ESP32 підтримує SPI та I2C інтерфейси, що дозволяє легко інтегрувати дисплеї, EEPROM–пам’ять, інші мікроконтролери або периферійні модулі.

Приклади можливих масштабованих сценаріїв: додавання нових датчиків до однієї плати ESP32 можливо підключити декілька сенсорів DHT22, а також інші наприклад, DS18B20 або BME280 без істотного впливу на продуктивність системи. Це дозволяє контролювати температурний розподіл у кількох зонах серверної

кімнати або навіть в окремих стійках. Інтеграція з іншими пристроями: До системи можливо під'єднати модулі управління вентиляцією, кондиціонерами, світловою та звуковою сигналізацією, датчиками відкриття дверей, газу, диму або руху. Це перетворює її на повноцінний центр локального моніторингу середовища, що виходить за межі простого температурного контролю. Мережева масштабованість: Використання ESP32 з можливістю з'єднання через MQTT або HTTP дозволяє будувати розподілені мережі з декількох вузлів. Кожен з них може працювати автономно або передавати дані до центрального сервера, хмарної бази даних або інтерфейсу веб–додатку. Адаптація до більших об'єктів: Для обслуговування великого дата–центру можна реалізувати кілька незалежних зон моніторингу, кожна з яких працює за окремим сценарієм. Дані з усіх зон можуть агрегуватися в одному місці для зручного аналізу та прийняття рішень. Гнучкість у методах індикації: На вибір користувача можуть бути реалізовані LCD–дисплеї, OLED–дисплеї, передача на монітор комп'ютера, мобільний додаток або онлайн–дашборд – все залежить від вимог до зручності інтерфейсу. Завдяки використанню мов програмування з відкритим кодом наприклад, C++ у середовищі Arduino IDE та великої кількості бібліотек, система легко піддається модифікації, повторному використанню та налаштуванню. Це дозволяє адаптувати її не лише до серверних кімнат, але й до інших середовищ: лабораторій, виробничих приміщень, теплиць, систем «розумного дому», аграрного моніторингу або енергоефективного контролю в будівлях.

Також особливу гнучкість забезпечує модульна структура проєкту. Основні функції, такі як збір даних, обробка значень, керування реле, відображення інформації на дисплеї, реалізовані як окремі блоки, що дозволяє змінювати або оновлювати лише частину системи без переробки всього коду. Це значно знижує витрати на підтримку та модернізацію.

Таким чином, запропонована система є не лише енергоефективною і точною, але й потенційно масштабованою та гнучкою. Вона здатна адаптуватися до нових завдань, зростати разом з інфраструктурою, інтегруватися з іншими технологіями та не вимагає значних витрат на перебудову в разі змін. Це робить її надзвичайно

перспективною для застосування в різних сферах автоматизованого моніторингу, інтернету речей (IoT) та інженерних систем керування середовищем.

Таблиця 3.4 – Приклади напрямів масштабування реалізованої системи

Напрям масштабування	Приклади реалізації
Кількість сенсорів	Підключення до десяти датчиків температури та вологості
Функціональні можливості	Додаткові реле, світлодіодні індикатори, сигналізація
Мережева інтеграція	MQTT–підключення, передача даних на веб–панель
Платформна гнучкість	Перенесення логіки на Respberry Pi або SMT32
Програмне розширення	Оновлення прошивки без перепайки або перезавантаження
Інтерфейс користувача	OLED, LCD–дисплеї, браузер, мобільний застосунок

3.6 Умови впровадження системи в реальне середовище

Розроблена система автоматизованого моніторингу температури на базі мікроконтролера ESP32 має значний потенціал для практичного застосування в реальних умовах, зокрема в серверних кімнатах, невеликих дата–центрах, офісних приміщеннях, лабораторіях і будь–яких просторах, де необхідно забезпечити стабільний мікроклімат для електронного обладнання. У цьому підпункті розглянуто ключові технічні, інфраструктурні та організаційні умови, необхідні для ефективного впровадження системи у виробниче або комерційне середовище.

Перш за все, одним із основних факторів є забезпечення електроживлення. Для коректної роботи система потребує стабільного джерела постійного струму з напругою п’ять вольт. Це можуть бути як адаптери змінного струму, так і автономні джерела живлення, блоки безперебійного живлення або акумулятори. У разі планового впровадження до серверної інфраструктури доцільним є підключення до резервного живлення, щоб уникнути відключення в критичні моменти.

Другим важливим чинником є наявність локальної мережі або Wi–Fi–з'єднання, якщо планується передача даних на зовнішній сервер, хмарну платформу або мобільний застосунок. ESP32 має вбудований Wi–Fi–модуль, що спрощує інтеграцію з існуючою мережею. У разі, якщо підключення до Інтернету відсутнє, система здатна функціонувати в автономному режимі, відображаючи інформацію локально – через OLED–дисплей або через UART–інтерфейс на комп'ютер.

Також система повинна бути фізично інтегрована у простір серверної кімнати. Її компактні розміри дозволяють розміщення у стандартних стійках, настінному монтажі або прихованій установці. Для розширеного моніторингу температури у різних зонах приміщення можна встановити кілька вузлів ESP32 з датчиками, синхронізованих між собою через мережу або спільний шлюз.

З точки зору інтеграції в існуючу IT–інфраструктуру, розроблена система є максимально дружньою: вона не потребує втручання в основні обчислювальні потужності серверної кімнати, не створює додаткового мережевого навантаження та не вимагає ліцензованого програмного забезпечення. Це суттєво знижує бар'єр для її впровадження, особливо для невеликих або бюджетних організацій, які не мають достатніх ресурсів для придбання промислових DCIM–рішень.

Крім того, система має низьку вартість реалізації. За попередніми оцінками, повна вартість одного модуля моніторингу (мікроконтролер, сенсор, реле, дисплей, провідники, джерело живлення) не перевищує восьмисот гривень. Це дозволяє масштабувати рішення до кількох зон моніторингу за дуже помірну суму. Для порівняння, вартість готових промислових систем з аналогічним функціоналом починається від кількох тисяч доларів США.

Окремо варто відзначити простоту обслуговування та налаштування. Наявність відкритого коду дозволяє легко вносити зміни в логіку керування або розширювати функціонал. Невеликий час монтажу (до тридцяти хвилин на один вузол), можливість оновлення прошивки через USB або Wi–Fi та документованість усіх компонентів робить систему зручною в експлуатації навіть для персоналу без глибоких знань у галузі мікроелектроніки.

Таким чином, для впровадження даної системи не потрібно значних капіталовкладень або складної підготовки. Вона є придатною для швидкого пілотного тестування, масштабування та впровадження у широкому спектрі середовищ, де критичною є надійність мікроклімату. Простота, надійність, адаптивність і низький поріг входу роблять її привабливою для впровадження як у приватному секторі, так і в державних установах, освітніх закладах та наукових центрах.

3.7 Перспективи подальшого розвитку та масштабування

Після успішного створення прототипу системи моніторингу температури на базі мікроконтролера ESP32 та перевірки її функціональності у середовищі моделювання, постає логічне питання щодо подальшого розвитку, вдосконалення та масштабування даного рішення. Перспективи модернізації охоплюють не лише технічну сторону (апаратне та програмне розширення), але й організаційно–економічні аспекти, що відкривають можливість застосування системи в ширшому спектрі задач.

Одним із основних напрямів розвитку є вдосконалення функціоналу системи. Серед найбільш перспективних рішень – додавання нових сенсорів для контролю вологості повітря, диму, рівня вуглекислого газу або присутності персоналу в серверній кімнаті. Наприклад, інтеграція датчиків MQ–135 або PIR дозволить реалізувати додаткові функції безпеки. Це перетворить систему з простої температурної станції на багатофункціональний комплекс екологічного моніторингу.

Також важливою є реалізація хмарного моніторингу, використання протоколів MQTT або HTTP дозволить передавати дані на хмарну платформу (Firebase, Blynk, Thingspeak), що дасть змогу переглядати інформацію у реальному часі з будь–якого пристрою, що має доступ до Інтернету. Це відкриває можливість централізованого контролю за кількома об'єктами одночасно, що є актуальним для компаній з розгалуженою мережею філій.

Ще один напрям – інтеграція з мобільними додатками або вебінтерфейсами. Просте графічне відображення температурних трендів, рівнів вологості, а також повідомлень про аварійні ситуації підвищує зручність користування системою та пришвидшує реагування персоналу на потенційні загрози. Візуалізація даних також може бути реалізована за допомогою бібліотек Chart.js, Grafana або Node–RED.

Серед перспективних технічних змін – перехід на більш продуктивні контролери, ESP32–S3, STM32, Raspberry Pi Pico, які мають більші ресурси пам'яті, вищу тактову частоту та можливості апаратного шифрування даних. Це важливо у разі масштабування системи до десятків сенсорних вузлів та необхідності забезпечення кібербезпеки.

Окремо варто розглянути можливість автономного енергозабезпечення, що дозволить системі функціонувати в умовах нестабільного електропостачання. Використання літій–іонних акумуляторів з модулями заряджання або сонячних панелей дає змогу розміщувати вузли у важкодоступних місцях, без постійного підключення до електромережі.

Щодо масштабування, запропоноване рішення є універсальним. Воно дозволяє: створити багатозонну архітектуру, де кожен вузол контролює окрему частину приміщення; впровадити ієрархічну структуру, в якій дані з багатьох ESP32 передаються на один головний контролер або сервер; реалізувати групову логіку керування, наприклад – синхронне вмикання декількох кондиціонерів або вентиляторів в залежності від середньої температури у приміщенні.

Додатковим аргументом на користь подальшого розвитку є можливість адаптації системи до інших сфер. Зокрема, вона може бути використана для моніторингу в теплицях, холодильних камерах, складських приміщеннях, навчальних закладах або навіть у побуті. Заміна температурного сенсора на інші типи дає змогу реалізувати моделі контролю вологості ґрунту, якості повітря або рівня освітлення.

У довгостроковій перспективі запропоноване рішення може слугувати основою для створення модульної IoT–платформи, яка дозволяє користувачеві

самостійно вибирати потрібні сенсори, налаштовувати правила керування та отримувати повідомлення в режимі реального часу. Таким чином, простий та недорогий проєкт перетворюється на гнучкий і масштабований інструмент, що відповідає принципам сучасного цифрового середовища.

3.8 Проблеми впровадження та потенційні ризики

Попри численні переваги розробленої системи моніторингу температури, реальне впровадження подібних рішень супроводжується низкою викликів, які необхідно врахувати ще на етапі проєктування та тестування. Цей підпункт присвячений аналізу потенційних технічних, організаційних і зовнішніх ризиків, які можуть вплинути на ефективність роботи системи у промислових або офісних умовах.

Насамперед, до технічних ризиків можна віднести обмежений ресурс деяких компонентів. Наприклад, релейні модулі мають певну кількість циклів перемикання, після чого їх надійність знижується. Це може спричинити помилкове вмикання або вимикання кондиціонерів, що особливо критично в умовах високої щільності серверного обладнання. Для зниження ризиків доцільно використовувати твердотільні реле або модулі з індикацією зносу.

Ще одним фактором є чутливість сенсорів до умов експлуатації. Датчики температури можуть давати похибки через забруднення, пил, зміни вологості або нестабільне живлення. Це може призвести до некоректної інтерпретації стану середовища. Рішенням є регулярна калібровка або використання кількох сенсорів з розподілом їх по різних зонах.

У разі відсутності стабільного підключення до мережі (Wi–Fi або Ethernet), можуть виникнути проблеми із передачею даних, зокрема у разі використання хмарного моніторингу. Це підвищує ризик втрати даних або неможливості віддаленого контролю за температурою. Надійною альтернативою є локальне зберігання даних у пам’яті пристрою з подальшою передачею при відновленні зв’язку.

Організаційними ризиками можуть стати помилки при монтажі, недосвідченість персоналу або відсутність належної документації. Уникнути цього дозволяє стандартизована інструкція з підключення, візуальна схема розміщення компонентів, а також можливість централізованого адміністрування через вебінтерфейс.

Не менш важливим є питання захисту даних і безпеки. Якщо система підключена до Інтернету, то є ризик зовнішнього втручання. Використання стандартних паролів, незашифровані з’єднання або відкриті порти створюють вразливості, які можуть бути використані зловмисниками. Для цього важливо впровадити протоколи шифрування (SSL/TLS), унікальні токени доступу та моніторинг активності.

Крім технічних і програмних обмежень, важливо враховувати зовнішні чинники, зокрема перебої в електропостачанні, нестабільний клімат у приміщенні, надмірну вологість або перегрів. Система має бути захищена корпусом із відповідним класом захисту IP, а також бажано мати функцію резервного живлення.

Окрему увагу варто приділити питанням масштабування у великих об'єктах. Із зростанням кількості вузлів зростає складність адміністрування, конфлікти адрес у мережі, перевантаження точки доступу Wi–Fi. Тому для таких проєктів доцільно передбачати маршрутизатори, шлюзи або використання протоколів, адаптованих до IoT–мереж LoRaWAN або ZigBee.

3.9 Постановка завдань

Об’єктом дослідження у даному розділі є функціонування розробленої системи моніторингу температури в умовах тестування, оцінки ефективності та виявлення практичної придатності до впровадження.

Предметом дослідження виступають характеристики точності, енергоефективності, надійності та масштабованості системи моніторингу, реалізованої на основі мікроконтролера ESP32.

Метою розділу є експериментальна перевірка працездатності запропонованого рішення, аналіз його сильних і слабких сторін, а також формування висновків щодо доцільності використання в реальних умовах.

Завдання розділу:

1. Провести тестування алгоритму керування для визначення точності спрацювання у межах заданого температурного діапазону;
2. Оцінити енергоефективність роботи системи в умовах симуляції безперервного функціонування;
3. Здійснити порівняльний аналіз з існуючими комерційними системами за критеріями витрат, гнучкості та складності реалізації;
4. Визначити потенційні шляхи масштабування та адаптації системи до інших сфер застосування;
5. Проаналізувати можливі ризики та обмеження, що можуть виникнути під час впровадження в реальному середовищі;
6. Сформулювати узагальнені висновки щодо технічної, економічної та функціональної доцільності створеного рішення.

3.10 Висновок до третього розділу

У межах третього розділу дипломної роботи було здійснено комплексний аналіз створеної системи моніторингу температури на базі мікроконтролера ESP32, оцінено її технічні, енергетичні, архітектурні та експлуатаційні характеристики, а також визначено перспективи масштабування та потенційні ризики при впровадженні.

По–перше, підтверджено технічну ефективність і стабільність роботи системи. Завдяки реалізації алгоритму з гістерезисом досягнуто високої точності регулювання температури без частих перемикань, що мінімізує знос реле. Система впевнено підтримує температурний режим у заданому діапазоні, що критично важливо для забезпечення працездатності серверного обладнання.

По–друге, проведено енергетичний аналіз, який виявив високу енергоефективність розробленої системи. Добове споживання енергії є низьким, що дає змогу використовувати її у малих дата–центрах, офісних приміщеннях або локальних серверних кімнатах, де пріоритетними є енергоощадність і економічна доцільність.

По–третє, у порівняльному аспекті проаналізовано альтернативні варіанти реалізації таких систем, зокрема ПІД–регулятори та DCIM–платформи. Незважаючи на простішу архітектуру, запропонована модель має ряд переваг: відкритий код, доступність компонентів, простота розгортання, відсутність потреби у складному програмному забезпеченні чи дорогому апаратному забезпеченні.

По–четверте, оцінено можливості масштабування проєкту. Система легко адаптується до більших за розміром об'єктів завдяки можливості підключення додаткових сенсорів, мережевої інтеграції, використання вебінтерфейсів або мобільних застосунків для моніторингу, а також підтримки багатозонного контролю параметрів мікроклімату. Запропоновано подальший розвиток, що включає впровадження хмарних сервісів, автономного живлення, візуалізації аналітичних даних та інтеграцію з інтернетом речей.

По–п’яте, проаналізовано потенційні труднощі впровадження системи у реальних умовах. Основними ризиками і викликами визнано похибки сенсорів, обмежений ресурс механічних реле, можливі збої у передаванні даних та питання інформаційної безпеки. Запропоновано низку методів нейтралізації ризиків, серед яких: резервне живлення, модульна побудова, шифрування каналів передавання даних, стандартизація інтерфейсів та використання якісних апаратних рішень.

Окрему увагу приділено практичним аспектам впровадження системи: її енергоефективність, компактність, низькі вимоги до інфраструктури та простота налаштування дозволяють впроваджувати її в умовах різного рівня технічної підготовки персоналу, без потреби у дорогих спеціалізованих рішеннях.

Таким чином, розроблена система моніторингу температури є технічно досконалим, доступним, енергоефективним та масштабованим рішенням, що відповідає вимогам сучасних IT–інфраструктур. Вона об'єднує простоту реалізації, гнучкість налаштувань, низьку вартість реалізації, високий рівень надійності та відкритість для модернізації. Це дозволяє успішно використовувати її як у промислових, так і в освітніх, лабораторних або науково–дослідних проєктах. Отже, результати третього розділу доводять життєздатність проєкту та обґрунтовують доцільність його практичного впровадження в умовах сучасних інформаційних систем.

ВИСНОВКИ

У роботі, за результатами виконаних теоретичних досліджень, моделювання, а також практичної реалізації на основі мікроконтролера ESP32, було розроблено і обґрунтовано функціональну архітектуру системи моніторингу температури у серверному приміщенні з автоматичним керуванням охолодженням. Поставлену мету досягнуто шляхом системного аналізу предметної області, моделювання інформаційних потоків, вибору ефективних апаратних компонентів та розробки програмної логіки, що забезпечує автоматизоване реагування на зміни мікрокліматичних умов.

У першому розділі проведено ґрунтовний аналіз проблеми перегріву серверних кімнат та її впливу на безперебійну роботу IT–інфраструктури. Розглянуто сучасні виклики, пов’язані з тепловим навантаженням, ризиками втрати даних, деградацією обладнання та зростанням енергоспоживання. Окремо проаналізовано існуючі технічні рішення щодо моніторингу температури: автономні сенсори, мережеві пристрої, DCIM–платформи, системи на основі штучного інтелекту, а також DIY–рішення. Виконано порівняльний аналіз технологій за критеріями точності, енергоефективності, вартості, масштабованості, що дало змогу визначити доцільність побудови теоретичної моделі на базі ESP32.

У другому розділі проведено моделювання системи моніторингу температури з розробкою схеми підключення, вибором апаратної платформи, елементів керування, сенсорів і пристроїв виводу інформації. Побудовано структурну схему, принципові з'єднання та алгоритм роботи з реалізацією гістерезису керування. Особливу увагу приділено розробці програмного забезпечення із застосуванням мови C++ для середовища Arduino IDE. Було проведено моделювання роботи системи у середовищі Wokwi з виведенням результатів у серіальний монітор та перевіркою логіки активації реле в залежності від температурних змін.

У третьому розділі дипломної роботи було об’єднано результати функціонального тестування створеної системи моніторингу температури та аналіз її готовності до практичного впровадження. Проведено експериментальну

перевірку логіки роботи системи, зокрема алгоритму керування на основі гістерезису, взаємодії з виконавчими елементами (реле), а також точності зчитування показників температури й вологості. Було перевірено функціонування OLED–дисплея та реакцію системи на зміну параметрів за допомогою симульованого навантаження через потенціометр. Особливу увагу приділено стабільності роботи пристрою в умовах змінних температур, відповідності енергоспоживання вимогам енергоефективності, а також потенціалу масштабування в межах локальних або розподілених IoT–середовищ. Оцінено перспективність використання альтернативних протоколів зв'язку, таких як LoRa, ZigBee або MQTT, з урахуванням їх пропускної здатності, енергоспоживання та складності інтеграції. У межах цього ж розділу здійснено аналіз практичних аспектів інсталяції та експлуатації системи в умовах реального середовища – офісних або промислових серверних приміщеннях. Визначено основні чинники, що впливають на надійність та безпеку: пилозахист і вологозахист, стійкість до електромагнітних завад, живлення та ризики атак на мережеві інтерфейси. Наведено можливі проблеми, зокрема зношення реле, похибки сенсорів, коливання напруги, та обґрунтовано рекомендації для їх мінімізації – шляхом резервування живлення, використання якісних компонентів та впровадження протоколів безпеки.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1.Uptime Institute – Щорічне опитування щодо надійності дата–центрів URL: https://uptimeinstitute.com/resources/research–and–reports (дата звернення: 05.04.25)

2.Wikipedia – Охолодження серверних приміщеньURL: https://en.wikipedia.org/wiki/Data_center_environmental_control (дата звернення: 07.04.25)

3.IEEE Xplore – Теплове управління в електроніці URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/7410014 (дата звернення: 09.04.25)

4.iButton Thermochron 1922L Datasheet URL: https://www.maximintegrated.com/en/products/digital/ibutton/DS1922L.html (дата звернення: 11.04.25)

5.Information on WSN protocols (Zigbee, LoRaWAN, BLE) URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_sensor_network (дата звернення: 15.04.25)

6.Wikipedia. Server Room Cooling URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Server_room (дата звернення: 17.04.25)

7.Microsoft Research. Project Natick: Underwater Data Centers URL: https://natick.research.microsoft.com/ (дата звернення: 21.04.25)

8.URL: https://news.microsoft.com/features/under–the–sea–microsoft–tests–a–datacenter–thats–quick–to–deploy–could–provide–internet–connectivity–for–years/

9.Google Scholar Ilager, S. Ramamohanarao. K. Buyya. R. (2020). Thermal Prediction for Efficient Energy Management of Clouds using Machine Learning. URL: https://arxiv.org/abs/2011.03649 (дата звернення: 26.04.25)

10. Polonelli. T. Brunelli. D. Bartolini. A. Benini. L. (2019). A LoRaWAN Wireless Sensor Network for Data Center Temperature Monitoring. URL: https://arxiv.org/abs/1902.09400 (дата звернення: 03.05.25)

11. Anik. S. Gao. X. Meng. N. Agee. P. McCoy. A. (2021). A Cost–Effective, Scalable, and Portable IoT Data Infrastructure for Indoor Environment Sensing. URL: https://arxiv.org/abs/2110.14042 (дата звернення: 05.05.25)

12. Adeagbo. A.A. (2024). IoT Based Environment Monitoring System Using ESP32. URL: https://arxiv.org/abs/2405.14047 (дата звернення: 08.05.25)

13. RandomNerdTutorials. ESP32 DS18B20 Temperature Sensor using Arduino IDE. URL: https://randomnerdtutorials.com/esp32–ds18b20–temperature–arduino–ide (дата звернення: 10.05.25)

14. RandomNerdTutorials. ESP32 Thermostat Web Server. URL: https://randomnerdtutorials.com/esp32–esp8266–thermostat–web–server (дата звернення: 12.05.25)

15. Espressif Systems. (2020). ESP32 Series Datasheet. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 15.05.25)

16. Espressif Systems. (2022). ESP–IDF Documentation. URL: https://docs.espressif.com/projects/esp–idf/en/latest/ (дата звернення: 16.05.25)

17. Wokwi simulator project examples: URL: https://wokwi.com (дата звернення: 18.05.25)

18. ESP32 – DHT22 – Relay. URL: https://esp32io.com/tutorials/ esp32–dht22–relay (дата звернення: 21.05.25)

19. Wokwi – DHT22 Reference URL: https://docs.wokwi.com/parts/wokwi–dht22 (дата звернення: 23.05.25)

20. Відеоурок з симуляції ESP32, DHT22 та LCD дисплея в Wokwi. URL: https://www.youtube.com/watch?v=SLGJJsUy0tw (дата звернення: 05.04.25)

21. Відеоурок з підключення OLED дисплея до ESP32 в симуляторі Wokwi. URL: https://www.youtube.com/watch?v=NE1EntTJUIU (дата звернення: 23.05.25)

22. Ващук І. Б.. Тернопіль: ТНТУ, 2020. URL: https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/33276 (дата звернення: 25.05.25)

23. Імітаційне моделювання систем процесів у телекомунікаціях 2022 URL: https://ela.kpi.ua/items/9e323fd8-4f04-40a0-8f40-d1d851415819 (дата звернення: 27.05.25)

24. Yuan Y. Yu Z. Wang C. Yang G. Verification Techniques for Embedded Software Systems: A Survey. – In: IEEE Access, 2020, Vol. 8, pp. 120172–120193. URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9136703 (дата звернення: 28.05.25)

25. Espressif Systems ESP32 Datasheet – Technical Reference Manual. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 30.05.25)

26. Marwah. H. Rajalakshmi. P. Low Power Design Techniques for Embedded IoT Platforms. In: 2019 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS). URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/9057742 (дата звернення: 30.05.25)

27. Діаграма температурних зон серверної кімнати URL: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Datacenter_Clarity_LC_web_client_screenshot.png (дата звернення: 6.04.25)

28. Електрична схема мікропроцесора Arduino Uno URL: https://www.internauka.com/uploads/public/15308083338340.pdf (дата звернення: 13.05.25)

29. Графік вартості простоїв серверних кімнат URL: https://www.opsworks.co/blog/cost–of–downtime–truth–and–facts–of–it–downtime (дата звернення: 09.04.25)

30. Пошкоджений від перегріву жорсткий диск URL: https://datarecovery.com/2015/07/ what–does–a–fire–damaged–hard–drive–look–like/ (дата звернення: 09.04.25)

31. Аварійна ситуація в серверній кімнаті після збою охолодження URL: https://www.top10hebergeurs.com/guide/hebergement-web-vert/hebergeur-ecologique-comment-choisir (дата звернення: 13.04.25)

32. Sensaphone S2110 URL: https://botland.store/ sensecap– lorawan –modules/22927– sensecap–s2110–senso r–builder–grove–sensors–to–rs485–converter–seeedstudio–114992986.html (дата звернення: 15.04.25)

33. UbiBot WS1 Pro (Wi–Fi) URL: https://prom.ua/p2622808942–wifi–rozumnij–datchik.html?utm_source=google_pmax&utm_medium=cpc&utm_content=pmax&utm

_campaign=Pmax_cpa_50_dom_i_sad_5330921877&gad_source=1&gad_campaignid=22127361810&gbraid=0AAAADBxJSU8yhURueR4EXpcw2qXRM5C2&gclid=CjwKCAjw3f_BBhAPEiwAaA3K5GYtJf5Hs1hQlMiH90P_bSU7nZWZvL2Zpm_7ak_cnQH1AftVeEMXGxoCy6QQAvD_BwE (дата звернення: 15.04.25)

34. Інтерфейс DCIM платформи Schneider Electric EcoStruxure URL: https://www.datacenterdynamics.com/en/news/schneider–electric–adds–automated–sustainability–reporting–to–ecostruxure–it–dcim–software/ (дата звернення: 16.04.25)

35. автономний реєстратор температури iButton Thermochron URL: https://thermochron.com.au/ (дата звернення: 20.04.25)

36. Схема принципової роботи мережевого сенсора температури URL: https://www.electronicproducts.com/field–transmitter–temperature–sensor–block–diagram/ (дата звернення: 20.04.25)

37. Приклад мережевого сенсора температури UbiBot WS1 Pro URL: https://www.ubibot.com/news/3106/why–you–should–consider–getting–remote–thermometer–sensors/attachment/ws1–pro/ (дата звернення: 23.04.25)

38. Загальна схема роботи DCIM–платформи URL: https://dgtlinfra.com/data–center–infrastructure–management–dcim/ (дата звернення: 24.04.25)

39. Апаратна плата ESP32 із зазначенням основних компонентів URL: https://2btrading.tn/accueil/8778–carte–de–develeoppement–esp32–c6–devkitc–18mb–spi–flash.html (дата звернення: 10.05.25)

40. Блок–схема взаємодії компонентів системи моніторингу температури URL: https://www.researchgate.net/figure /Flow-chart-of-the-program -of-centra l-processing-unit_fig1_283231957 (дата звернення: 12.05.25)

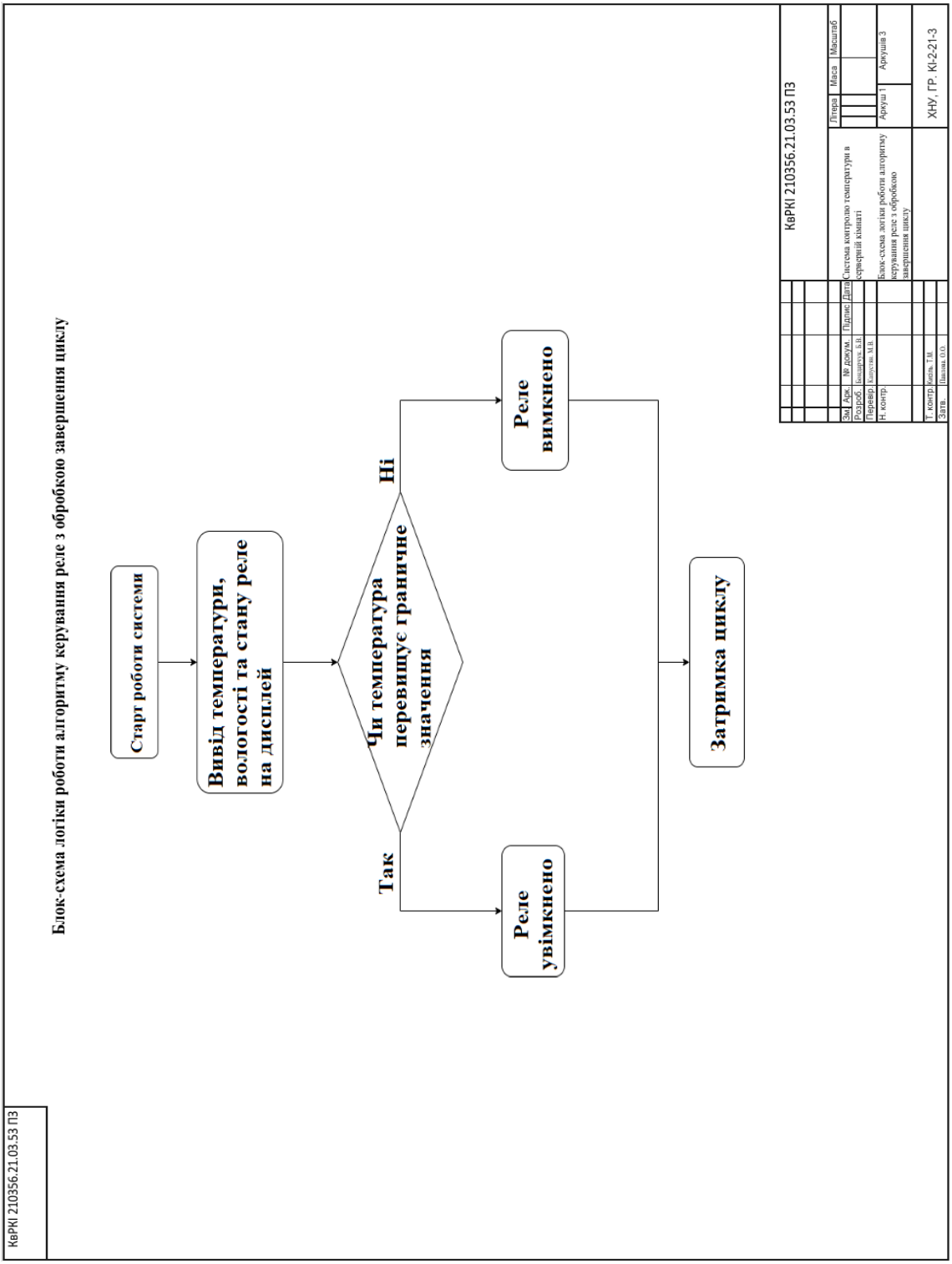
41. Принципова схема підключення компонентів URL: https://esp32io.com/tutorials/esp32–cooling–system–using–dht–sensor (дата звернення: 13.05.25)

42. ESP32 у середовищі симуляції Wokwi URL: https://wokwi.com/projects/431564755734992897 (дата звернення: 15.05.25)

Додаток А

(обов'язково)

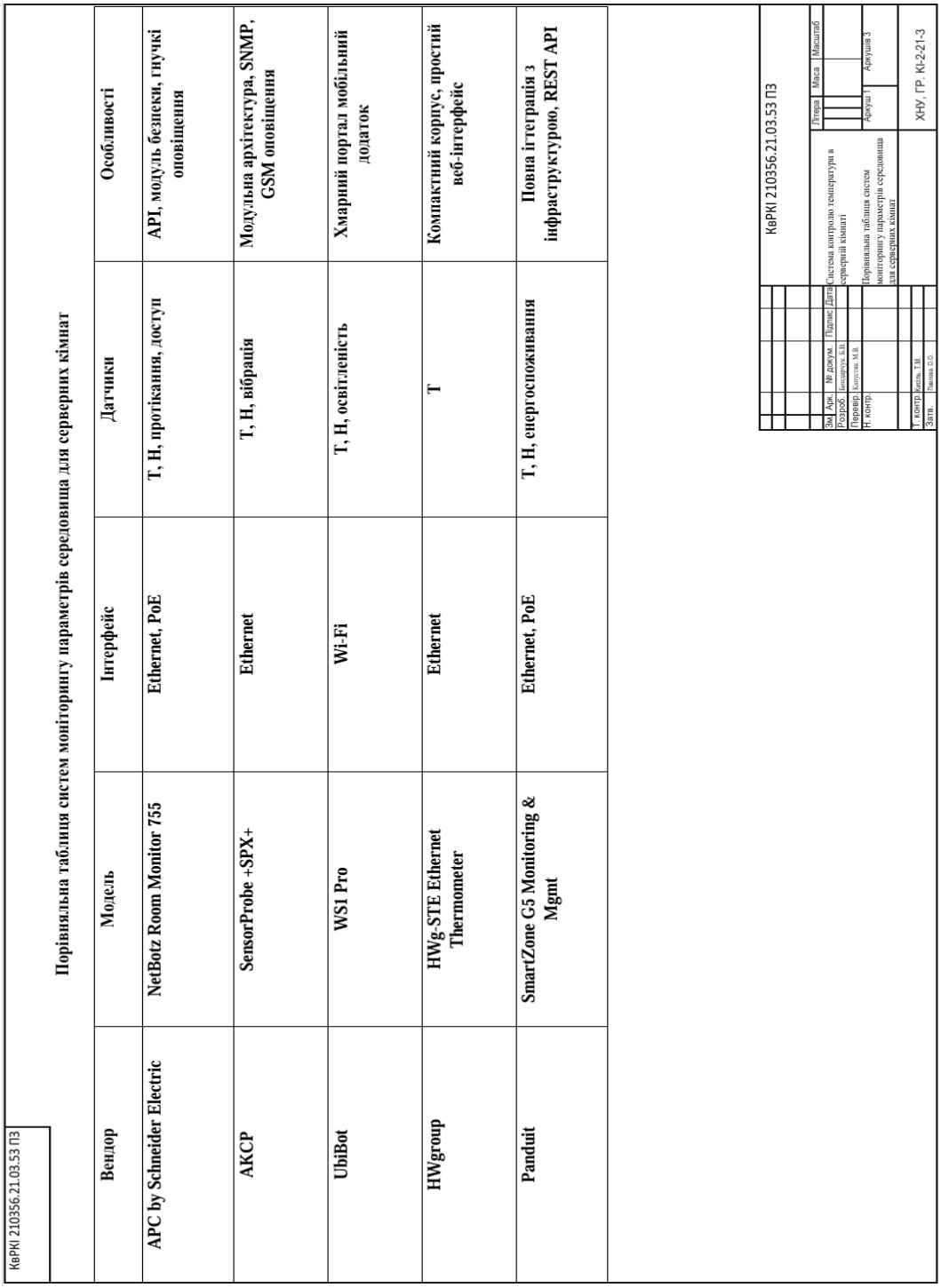
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «БЛОК–СХЕМА РОБОТИ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ РЕЛЕ З ОБРОБКОЮ ЗАВЕРШАЛЬНОГО ЦИКЛУ»



Додаток Б

(обов'язково)

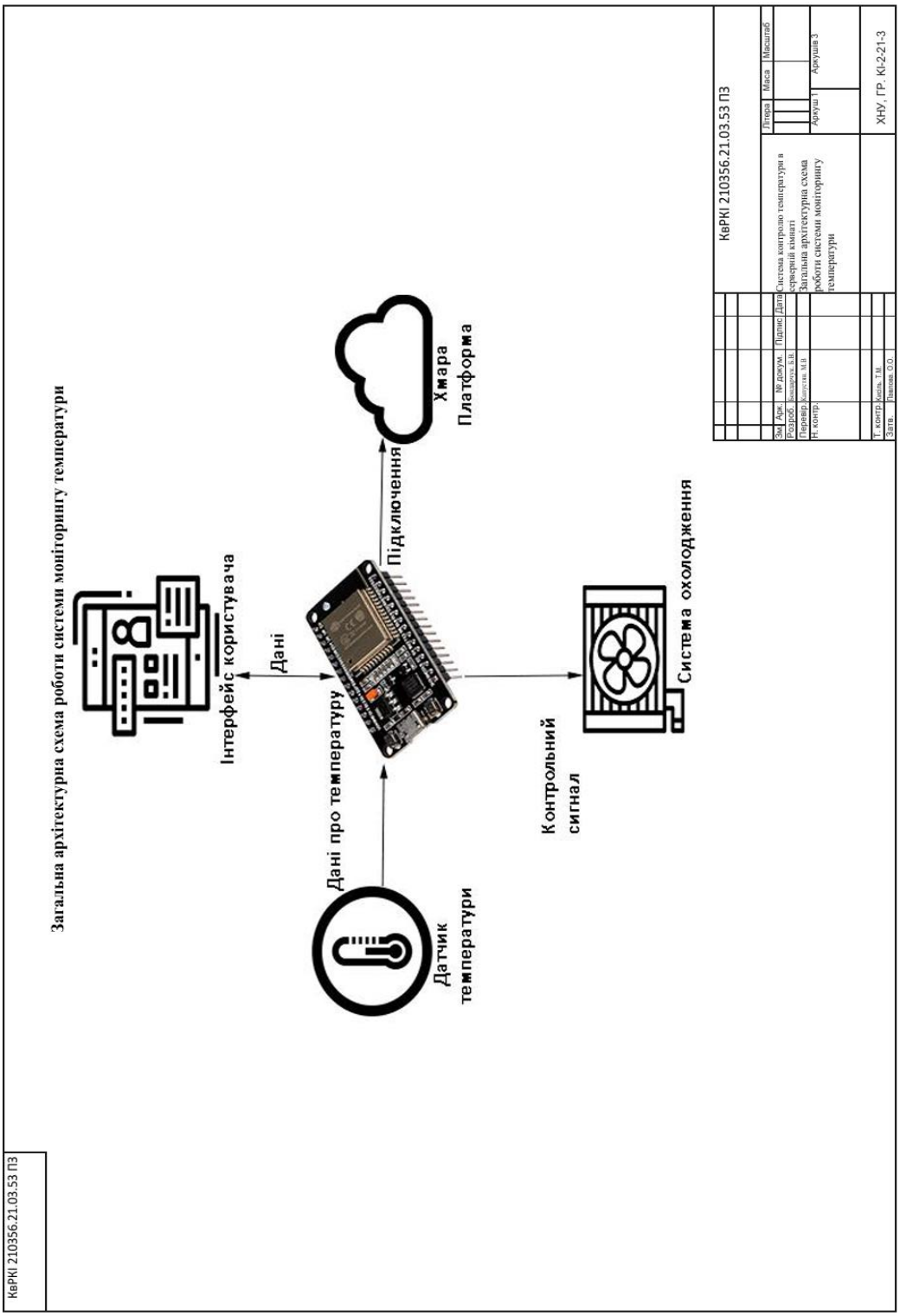
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ПОРІВНЯЛЬНА ТАБЛИЦЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ СЕРВЕРНИХ КІМНАТ»



Додаток В

(обов'язково)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ЗАГАЛЬНА АРХІТЕКТУРНА СХЕМА РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ»



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: Богдан БОНДАРЧУК

Співавтор:

Назва: Бондарчук_Система контролю температури в серверній кімнаті

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:1.4%

Коефіцієнт подібності 2:0.3%

Мікропробіли: 10

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-14 19:44:49.0

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.**

Обгрунтування:

2025-06-15 Доцент Андрій Нічепорук

Дата експерт

Sat Jun 14 20:38:39 EEST 2025, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 1.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 13%**

	Document		Sum coincidence on the DB	
ID: 245892 Title: БКР Система контролю температури в серверній кімнаті Added in a DB: 2025-06-14 Authors: Богдан БОНДАРЧУК Heads: Марія КАПУСТЯН Consultants: Opponents:	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	87180	605	589 (1%)	6 (1%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Бондарчук Богдан Васильович

Тема: Система контролю температури в серверній кімнаті

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень ___3____ Кількість сторінок записки ___55___

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи контролю температури в серверній кімнаті з використанням мікроконтролера ESP3.

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

3. У першому розділі розглянуто основні підходи до побудови систем моніторингу клімату в технічних приміщеннях, таких як серверні кімнати. Проаналізовано сучасні архітектури систем автоматизованого контролю температури, основні технічні вимоги до таких систем, а також типи сенсорів, що використовуються для збору кліматичних даних, проведено порівняльний аналіз популярних мікроконтролерів для IoT-рішень ESP32, і обґрунтовано ESP32 через його розширені функціональні можливості, наявність Wi-Fi модуля та підтримку роботи з цифровими сенсорами. Розглянуто переваги та недоліки сенсора температури DHT22, а також особливості його інтеграції у мікроконтролерні системи. У другому розділі досліджено процес проєктування та розробки логіки роботи системи контролю температури, розглянуто алгоритм періодичного зчитування температури з сенсора DHT22, обробки отриманих значень, прийняття рішення про вмикання або вимикання охолоджувального пристрою залежно від заданого порогового значення, висвітлено реалізацію умовного переходу та системи керування вихідним реле, у цьому ж розділі представлено блок-схеми логіки роботи, описано основні компоненти апаратної частини та розроблено структурну схему всієї системи. У третьому розділі здійснено тестування розробленої системи в

онлайн-середовищі Wokwi, продемонстровано інтеграцію ESP32 з сенсором DHT22, віртуальне керування реле на основі отриманих температурних значень та перевірка працездатності алгоритму в різних сценаріях, наведено приклади тестових запусків моделі при нормальних та критичних температурних умовах, проведено аналіз часу реагування системи та її стабільності, здійснено візуалізацію результатів за допомогою серійних виводів та умовного включення системи охолодження.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: не зібраний фізичний макет системи, щоб провести експериментальне тестування.

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 достатньому рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Окишко Оксана Григорівна, к. пед. наук, доцент каф. ІВЗ, ХНЕУ

"16" 06 2025 р. _____(підпис)

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

Богдан БОНДАРЧУК

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-3

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.

11.06. 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, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Система контролю температури в серверній кімнаті

Автор: Богдан БОНДАРЧУК

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Марія КАПУСТЯН, к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби 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 загальновживаними 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 вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
5) виявлені системою ознаки текстових модифікацій зумовлені використанням латинських символів разом із україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 1.41% і адресується до 10 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 1%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи _____ Марія КАПУСТЯН

Гарант ОП _____ Андрій НІЧЕПОРУК

Завідувач кафедри КІІС _____ Ольга ПАВЛОВА