

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ

Виконав здобувач III курсу, група КІ2с-23-2

Керівник

Науковий ступінь, учене звання

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
«4» червня 2026 р.

дата



Павло ЦЬОПА
Ініціали, прізвище

Юрій ВОЙЧУР
Ініціали, прізвище

Сергій ЛИСЕНКО
Ініціали, прізвище

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІС

 Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Цюпа Павлу Едуардовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino

Керівник проекту (роботи) Войчур Юрій Олексійович, д.ф.

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

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Дослідження предметної області та поставновка задачі

Проектування мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату серверної шафи

Програмно-апаратна реалізація мікропроцесорної система моніторингу мікроклімату серверної шафи

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

Архітектура ПЗ проекту

Результати вимірювань мікроклімату

Електрична схема

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – проектування мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату серверної шафи	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – програмно-апаратна реалізація мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату серверної шафи	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач


Підпис

Павло ЦЬОПА
Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Юрій ВОЙЧУР
Імя, ПРІЗВИЩЕ

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino».

Автор роботи: Павло ЦЬОПА.

Керівник роботи: Юрій ВОЙЧУР.


Пояснювальна записка: 62 с., 37 рис., 4 табл., 3 дод., 40 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АРХІТЕКТУРА, БАЗА ДАНИХ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату та фізичної безпеки серверних шаф. Актуальність теми зумовлена необхідністю своєчасного запобігання аварійним ситуаціям, перегріву, задимленню та виходу з ладу високовартісного телекомунікаційного обладнання.





Метою роботи є створення повністю незалежного локального комплексу для збору, обробки, збереження та візуалізації телеметричних даних у реальному часі. У ході роботи розроблено клієнтський апаратний вузол із сенсорами та налаштовано локальний сервер. Його програмна архітектура забезпечує маршрутизацію сигналів, ведення історії вимірювань у базі даних та надає адміністратору зручний графічний веб-інтерфейс для оперативного контролю інфраструктури без залежності від зовнішніх хмарних сервісів.


Підпис здобувача

30.05.2026
Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Дослідження предметної області та постановка задачі.....	5
1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань	5
1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень	8
1.3 Висновки до першого розділу.....	16
2 Проектування мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату серверної шафи.....	18
2.1 Визначення параметрів мікроклімату для серверної шафи та їх вплив на роботу компонентів.....	18
2.2 Вимоги до мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату в серверній шафі та її структура.....	20
2.3 Визначення апаратних складових проєкта	26
2.4 Електрична схема мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату у серверній шафі.....	31
2.5 Висновки до другого розділу	33
3 Програмно-апаратна реалізація мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату серверної шафи	35
3.1 Створення основи сервера для прототипування системи моніторингу мікроклімату.....	35
3.2 Створення прототипу мікропроцесорної системи	40
3.3. Створення програмного коду для Arduino	42
3.4. Створення програмного коду для Wi-Fi модуля Arduino	46
3.5. Створення бази даних InfluxDB та її підключення до NodeRed. Візуалізація Grafana.	51
3.6. Оцінка вартості проєкту	59
3.7. Висновки до 3 розділу	60
Висновки	60

КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата	Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Павло ЦЬОПА		01.06		y		2
Перевір.		Юрій ВОЙЧУР		01.06	та Arduino			
Н.контр.		Сергій ЛИСЕНКО		01.06	Пояснювальна записка	ХНУ КІ2с-23-2		
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА		01.06				

ВСТУП

Протягом останніх років системи моніторингу клімату впевнено посіли важливе місце в галузі інформаційних технологій. Вони активно застосовуються у різних сферах, зокрема там, де стабільність умов навколишнього середовища впливає на роботу обладнання. Одним із таких об'єктів є серверні шафи, для яких контроль температури та вологості є важливим.

Моніторинг клімату серверної шафи дозволяє в реальному часі відстежувати основні параметри середовища та своєчасно виявляти небезпечні відхилення, такі як перегрів або підвищена вологість. Використання Raspberry Pi та Arduino забезпечує простоту реалізації, надійність роботи системи та можливість обробки й відображення зібраних даних.

Завдяки такій системі адміністратор може отримувати інформацію про стан серверної шафи та реагувати на можливі аварійні ситуації. Це підвищує рівень захисту серверного обладнання, зменшує ризик його пошкодження та сприяє безперебійній роботі всієї системи. Саме тому тема моніторингу клімату серверної шафи є актуальною та перспективною.

Метою дипломної роботи є розробка та дослідження системи моніторингу мікроклімату серверної шафи на основі мікроконтролерів Raspberry Pi та Arduino, а також аналіз методів збору, обробки й відображення даних для забезпечення своєчасного виявлення змін температури та вологості.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу параметрів навколишнього середовища в серверній шафі.

Предметом дослідження є методи та засоби вимірювання, обробки і візуалізації температури та вологості з використанням апаратно-програмних рішень на базі Raspberry Pi та Arduino.

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз предметної області і виявлення наявних проблем і завдань

У сучасних інформаційних системах серверне обладнання є важливою складовою ІТ-інфраструктури підприємств, дата-центрів та телекомунікаційних вузлів. Для стабільної та безперервної роботи серверів необхідно забезпечувати відповідні параметри мікроклімату всередині серверних шаф, зокрема температуру, вологість та належну вентиляцію. Порушення цих параметрів може призвести до перегріву обладнання, збоїв у роботі, втрати даних або виходу серверів з ладу.

До появи електронних систем моніторингу контроль температури та вологості здійснювався за допомогою механічних і аналогових приладів. Найпоширенішими були ртутні та спиртові термометри, а також механічні гігromетри, принцип роботи яких базувався на фізичних властивостях матеріалів. Такі пристрої широко використовувалися у технічних приміщеннях, однак вимагали постійного контролю з боку людини та не забезпечували автоматичного реагування на зміну умов середовища. Спиртовий термометр з вбудованим механічним гігromетром зображено на рисунку 1.1.

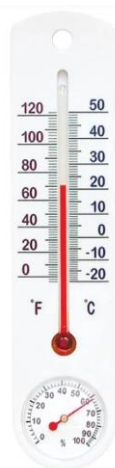


Рисунок 1.1 – Спиртовий термометр з вбудованим механічним гігromетром [21]

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подальшим етапом розвитку стали біметалеві термостати та прості автоматичні регулятори температури. Вони дозволяли автоматично вмикати або вимикати системи обігріву чи охолодження при досягненні заданих значень. Такі пристрої знайшли широке застосування в промислових і побутових системах, проте їх функціональні можливості були обмеженими, а контроль вологості зазвичай був відсутній. Такий біметалевий термостат зображений на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Біметалеві термостати [1]

З розвитком електроніки з'явилися аналогові електронні системи контролю мікроклімату, що використовували терморезистори, термопари та ємнісні датчики вологості. Їхньою головною перевагою стала можливість розмістити сенсори біля нагрітого обладнання, винісши панель управління назовні шафи. Вони не забезпечували збереження історичних даних, віддаленого доступу та інтеграції з іншими системами, що повністю позбавляло адміністраторів можливості відстежувати температурні аномалії вночі чи під час вихідних. Електронна система контролю мікроклімату зображена на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Електронна система контролю мікроклімату [5]

З появою мікроконтролерів стали з'являтися компактні автоматизовані системи моніторингу, здатні не лише вимірювати параметри мікроклімату, а й обробляти дані в реальному часі. Мікроконтролери дозволили реалізувати керування пристроями та підвищити надійність експлуатації серверного обладнання. Це важливо в умовах зростання тепловиділення сучасних серверів. Така мікроконтролерна плата зображена на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Мікроконтролерна плата [6]

Сучасні системи моніторингу базуються на використанні цифрових датчиків, мікроконтролерів та одноплатних комп'ютерів. Вони забезпечують збір і обробку даних, збереження історії вимірювань, віддалений доступ і своєчасне сповіщення про аварії. Використання таких платформ, як Raspberry Pi та Arduino, дозволяє створювати доступні та гнучкі системи моніторингу, що є альтернативою дорогим промисловим рішенням. Сучасна система моніторингу серверної шафи зображена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Система моніторингу мікроклімату серверної шафи
ENVIROMUX-MICRO-T [20]

Основними проблемами предметної області є відсутність недорогих і універсальних рішень для постійного контролю температури та вологості у серверних шафах, а також необхідність оперативного реагування на зміни мікроклімату. Завданням даної кваліфікаційної роботи є розробка мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino, яка забезпечить підвищення надійності та безпеки роботи серверного обладнання.

1.2 Порівняльний аналіз переваг та недоліків існуючих рішень

Контроль мікроклімату серверних шаф є важливою складовою забезпечення надійної роботи серверного обладнання. На сьогодні існує кілька підходів до моніторингу температури, вологості та інших параметрів середовища, кожен із яких має свої переваги та недоліки.

Найпростішим способом є ручний або напівавтоматичний контроль, коли в серверній шафі встановлюються автономні термометри та гігрометри. Основною перевагою цього підходу є низька вартість та легкість впровадження. Водночас він має суттєві недоліки: відсутність автоматичного збору даних, неможливість віддаленого доступу та високий ризик несвоєчасного виявлення відхилень параметрів.

Для професійних середовищ застосовуються промислові апаратно-програмні комплекси, наприклад, APC NetBotz, AVTECH RoomAlert або рішення компанії Vertiv. Такі системи забезпечують контроль температури та вологості, підтримують сповіщення про аварійні стани та інтеграцію з мережевими протоколами. Перевагами промислових рішень є надійність, сертифікація та широкий функціонал. Недоліками ж є висока вартість обладнання, складність налаштування та надлишковість функцій для невеликих серверних шаф або локальних серверних вузлів.

Широко використовуються також програмні системи моніторингу, такі як Zabbix та Nagios. Вони дозволяють збирати та зберігати історію даних, будувати

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

графіки та налаштовувати сповіщення. Однак ці рішення не забезпечують безпосереднього фізичного зчитування параметрів мікроклімату та потребують зовнішніх датчиків або контролерів для отримання первинної інформації.

Альтернативою промисловим та програмним системам є використання мікропроцесорних або DIY-рішень на базі Raspberry Pi та Arduino. Такі системи дозволяють створювати недорогі, гнучкі та масштабовані рішення для моніторингу мікроклімату серверних шаф. Перевагами є можливість індивідуального налаштування, інтеграція з мережевими сервісами та простота розширення. Недоліком є відсутність заводської сертифікації та необхідність самостійної розробки програмного забезпечення. Приклад такої реалізації зображений на рисунку 1.6.

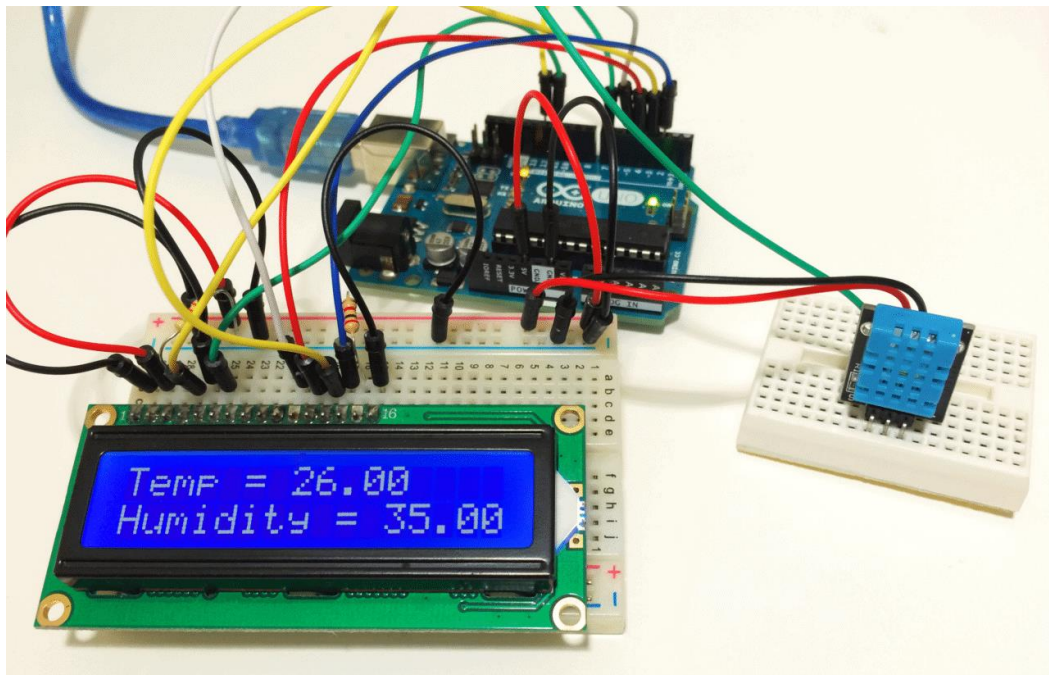


Рисунок 1.6 – Приклад реалізації вимірювання мікроклімату за допомогою Arduino UNO R3 [9]

У мікропроцесорних системах моніторингу мікроклімату серверних шаф важливу роль відіграє вибір протоколів та стандартів зв'язку, оскільки від них залежить надійність передачі даних, швидкодія системи та можливість її подальшого розширення. Для обміну інформацією між мікроконтролерами,

одноплатними комп'ютерами та серверними додатками застосовуються різні підходи до організації зв'язку.

Найпростішим варіантом є передача даних за допомогою послідовних інтерфейсів, зокрема UART або I2C. Такі інтерфейси використовуються для локального обміну інформацією між Arduino та підключеними датчиками або між Arduino і Raspberry Pi. Вони відзначаються простотою реалізації та високою надійністю, однак обмежені невеликою відстанню передачі та не підходять для віддаленого доступу до даних.

Для мережевої передачі інформації використовується протокол HTTP, який дозволяє передавати дані на веб-сервер або отримувати їх через браузер. Основною перевагою HTTP є універсальність і простота інтеграції з веб-інтерфейсами. Водночас цей протокол не оптимізований для частих коротких повідомлень, що призводить до підвищеного навантаження на мережу та обчислювальні ресурси пристроїв.

Альтернативою HTTP є протокол MQTT, який спеціально розроблений для систем моніторингу та інтернету речей. MQTT працює за принципом «видавець-підписник» і використовує центральний брокер для розповсюдження повідомлень між пристроями. Такий підхід дозволяє зменшити обсяг переданих даних, забезпечити оперативне отримання показників у реальному часі та легко підключати нові вузли до системи.

Окрім MQTT, у подібних системах може використовуватися протокол CoAP, який також орієнтований на пристрої з обмеженими ресурсами. Проте його застосування є менш поширеним, а підтримка з боку готових систем моніторингу значно нижча порівняно з MQTT.

Для фізичного з'єднання пристроїв у серверних приміщеннях зазвичай застосовується дротовий стандарт Ethernet, який забезпечує стабільний та захищений канал зв'язку. У разі відсутності можливості прокладання кабелів може використовуватися Wi-Fi, однак бездротові з'єднання є чутливіші до завад і не завжди рекомендовані для систем.

SmartRMU-АСЕМ це готовий пристрій для комплексного моніторингу та захисту серверних шаф і серверних приміщень. Він виконаний у форм-факторі 1U для монтажу в 19-дюймову стійку, що робить його зручним для використання в дата-центрах, серверних кімнатах або ІТ-кабінетах. Пристрій базується на мережевому зв'язку, що дозволяє здійснювати віддалений доступ та контроль параметрів через локальну мережу чи інтернет.

SmartRMU-АСЕМ призначений для моніторингу мікроклімату, зокрема температури та відносної вологості, з можливістю підключення кількох відповідних датчиків. Пристрій також оснащений вбудованими детекторами витоку води та диму, що дозволяє виявляти небезпечні ситуації, пов'язані з пожежами або протіканням.

Окрім контролю параметрів середовища, SmartRMU-АСЕМ має модулі контролю доступу. Це два інтерфейси Wiegand для підключення зчитувачів передніх і задніх дверей шафи, що підвищує безпеку фізичного доступу до обладнання.

SmartRMU-АСЕМ також має порти TCP/IP і RS-485 для обміну даними з іншими пристроями чи серверними системами збору даних. Пристрій живиться від стандартної мережі 230 В і оснащений індустричним металевим корпусом для встановлення в серверну стійку. Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі SmartRMU-АСЕМ зображений на рисунку 1.7.



Рисунок 1.7 – Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі smartRMU-АСЕМ [14]

ENVIROMUX Server Environment Monitoring System це система моніторингу та контролю умов навколишнього середовища в серверних шафах, кімнатах та дата-центрах. Вона призначена для безперервного спостереження за параметрами, такими як температура, вологість, витік води, рух, вібрація, дим або вторгнення, і своєчасного інформування про відхилення від заданих меж.

Система ENVIROMUX здатна працювати як самостійний пристрій, так і частина мережі моніторингу з централізованою обробкою даних. Пристрій оснащений внутрішніми датчиками температури та вологості, а також підтримує підключення значної кількості зовнішніх сенсорів, що дозволяє охопити всі точки середовища.

Передача даних і управління здійснюється через IP-мережу, а система підтримує стандартні протоколи моніторингу, зокрема SNMP, SMTP та інші мережеві інтерфейси. Користувачі можуть отримувати сповіщення про критичні стани через електронну пошту, SMS, SNMP-трапи або на веб-інтерфейсі, що дозволяє швидко реагувати на потенційні загрози для обладнання.

ENVIROMUX також надає можливість інтеграції з IP-відеокамерами для візуального контролю умов, створення журналу подій зі збереженням історії вимірювань та налаштування різних рівнів сповіщення. Система може взаємодіяти з зовнішніми керованими пристроями через цифрові входи/виходи або реле, що розширює її функціональність і дозволяє реалізувати автоматичне реагування на зміни середовища. Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі E-SEMS-16U зображений на рисунку 1.8.



Рисунок 1.8 – Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі E-SEMS-16U [12]

ENVIROMUX-5D це система моніторингу параметрів навколишнього середовища, призначена для контролю умов у серверних шафах, серверних кімнатах та дата-центрах. Вона забезпечує безперервний збір даних про параметри, такі як температура, вологість, наявність води, рух, дим або інші події, що можуть впливати на працездатність обладнання. Система підтримує підключення до корпоративної мережі через IP-інтерфейс і може працювати в різних мережевих середовищах.

ENVIROMUX-5D має датчики температури і вологості, а також підтримує до п'яти зовнішніх конфігурованих сенсорів. Це дозволяє розширити набір контролюваних параметрів відповідно до потреб конкретної інфраструктури. Система має п'ять цифрових входа та два вихідні реле, які можуть бути використані для інтеграції з іншими пристроями або автоматичного керування зовнішнім обладнанням у разі аварійної ситуації. Система підтримує налаштування порогових значень для кожного сенсора окремо. Це дозволяє виявляти критичні зміни параметрів та реагувати на можливі несправності обладнання або порушення умов експлуатації.

Пристрій побудований на Linux і підтримує набір мережевих протоколів, включаючи HTTP/HTTPS, SNMP, SMTP для електронних повідомлень, SSH, TLS і інші, що дозволяє легко інтегрувати його до існуючих систем моніторингу та управління. ENVIROMUX-5D може надсилати сповіщення через email, SNMP-трапи, SMS за допомогою зовнішнього USB-модема, а також відображати попередження у веб-інтерфейсі або логах подій.

Система має Ethernet-порт для підключення до мережі та чотири USB-порту для USB-модемів, накопичувачів або дисплеїв. ENVIROMUX-5D також пропонує можливість каскадування кількох пристроїв для розширення кількості підтримуваних сенсорів, а за допомогою додаткового програмного забезпечення може відображати дані для великої кількості пристроїв та сенсорів через єдиний інтерфейс.

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також підтримувати резервне живлення для забезпечення безперервної роботи навіть у разі перебоїв.

Завдяки можливості підключення сенсорів та інтеграції з системами моніторингу, Raritan Smart Rack Controller є прикладом готового рішення промислового рівня для контролю мікроклімату серверних шаф і може бути використаний для порівняння. Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі Raritan Smart Rack Controller зображений на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі Raritan Smart Rack Controller [13]

На сьогодні виробники пропонують різні готові рішення, які відрізняються базовим функціоналом, масштабованістю, підтримуваними мережевими протоколами та форм-фактором. Детальний аналіз та порівняння ключових характеристик цих готових систем моніторингу мікроклімату серверних шаф наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння готових рішень

Назва	Raritan Smart Rack Controller	NTI Enviromux-5D	NTI E-SEMS-16	smartRMU-ACEM
Кількість портів датчиків	Від 2 до 8, підтримує каскадування	5 портів RJ45 для датчиків, 5 цифрових входів	16 портів RJ45 для датчиків	4 порти

Кінець таблиці 1.1

Тип монтажу	1U, 0U	Настільний, 1U	1U	DIN-рейка або інтеграція в PDU
Живлення	Однофазне АС, підтримка PoE	Зовнішній БЖ АС/DC	АС	АС
Протоколи	SNMP, HTTP/S, SSH, MQTT, JSON-RPC, Modbus	SNMP, HTTP/S, SMTP	SNMP, HTTP/S, Syslog	SNMP, Modbus TCP, MQTT
Особливості	Кольоровий дисплей, підтримка смарт-карт, Xerus платформа	Компактний, є вбудована сирена, релейних виходи	Висока щільність 2 портів	Вимірювання параметрів АС
Цільове призначення	Малі та середні серверні кімнати	Малі та середні серверні кімнати	Великі дата-центри	Моніторинг електроживлення та мікроклімату

1.3 Висновки до першого розділу

Для реалізації мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату серверної шафи доцільно використовувати апаратні платформи, такі як Raspberry Pi або Arduino Uno. Вони забезпечують підключення різноманітних датчиків температури, вологості та інших параметрів навколишнього середовища, а також дозволяють реалізувати обробку й передачу даних у реальному часі.

Для розробки програмного забезпечення доцільно використовувати середовище Node-RED, яке надає засоби візуального програмування логіки збору, обробки та маршрутизації даних, а також спрощує інтеграцію з

мережевими сервісами та протоколами обміну інформацією. Програмування мікроконтролерів здійснюється мовою C++, що дозволяє реалізувати ефективні та стабільні прошивки для зчитування показників із датчиків і передачі їх до центрального вузла обробки.

Застосування такого підходу забезпечує надійний та безперервний збір даних про стан мікроклімату, їх подальшу обробку, зберігання та візуалізацію в режимі реального часу. Це створює умови для побудови гнучкої та масштабованої системи автоматизованого моніторингу, яка може бути адаптована до різних конфігурацій серверних шаф та розширена за рахунок додаткових датчиків або функціональних модулів.

Завданнями роботи є:

- дослідити принципи функціонування систем моніторингу мікроклімату серверних шаф;
- провести теоретичний аналіз сучасних рішень у сфері контролю температури та вологості серверного обладнання;
- охарактеризувати структуру предметної області та сформувану базову модель системи моніторингу;
- проаналізувати вже існуючі механізми реалізації таких систем, визначити їхні недоліки, а також можливі шляхи вдосконалення;
- на основі проведених досліджень визначити основні функції системи, сформувану перелік функціональних і нефункціональних вимог та розробити модель функцій, які повинна виконувати система;
- обґрунтувати доцільність розробки системи моніторингу мікроклімату серверної шафи;
- розробити пристрій для вимірювання потрібних умов;
- створити сервер для обробки отримуваних даних та базу даних для їх зберігання
- виконати оцінку вартості рішення та порівняння його з іншими готовими варіантами.

2 ПРОЄКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ СЕРВЕРНОЇ ШАФИ

2.1 Визначення параметрів мікроклімату для серверної шафи та їх вплив на роботу компонентів

Надійність та безвідмовність будь якого обладнання залежить від якості самого обладнання, інтенсивності його використання та від зовнішніх умов в яких воно працює. Обладнання в серверній шафі працює в закритому просторі та у високій щільності. Воно потребує більший контроль за мікрокліматом. Проєктування вимагає чіткого розуміння фізичних параметрів мікроклімату, їх нормативних меж та механізмів впливу на апаратне забезпечення.

Температура є самим важливим параметром, оскільки мікропроцесори, модулі пам'яті та накопичувачі мають суворі температурні ліміти. Рекомендований діапазон на вході в обладнання становить від +18 °C до +27 °C, тоді як допустимий граничний діапазон розширено від +15 °C до +32 °C. Перевищення позначки у +30...+35 °C викликає тротлінг, що різко знижує продуктивність системи. Падіння температури нижче +15 °C є не дуже добре, а різкі перепади можуть викликати механічні напруження на платах що є не рекомендовано для техніки.

Вологість повітря всередині шафи впливає на електричну провідність та збереження металевих контактів. Оптимальний діапазон становить від 40 до 60 відсотків. Висока вологість утворює конденсат та корозію мідних контактів і роз'ємів, а потім цей конденсат, призводить до коротких замикань. Також низька вологість створює умови для накопичення статички. Такий розряд може вивести з строю техніку і для її ремонту знадобляться гроші.

Контроль за газовим складом є елементом пожежної безпеки. Першим етапом пожежі є плавлення ізоляції кабелів і разом з ними виділенням специфічних газів ще до появи вогню. Під час горіння виділяється вуглекислий

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газ та інші шкідливі речовини. Попередження таких випадків зберігає техніку та людське життя.

Фізична цілісність контуру охолодження, зокрема стан дверей, визначає стабільність мікроклімату. Сучасні шафи проєктуються за принципом поділу "холодних" та "гарячих" коридорів, а відкриття дверей порушує цей аеродинамічний контур, дозволяючи нагрітому повітрю потрапляти на повітрозабірники. Якщо двері залишаються відкритими, ефективність охолодження падає, а температура зростає. Крім того відкриті двері це ризик, що щось потрапить в серверну шафу. Це можуть бути тварини, сміття, зловмисники.

Для серверних шаф є вже готові нормативи якими потрібно керуватись. Вони визначенні у стандарті ДСТУ EN 50600-2-3:2022. В них описані рекомендовані значення температури та вологи. Ці діапазони значень описані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Діапазони значень в ДСТУ EN 50600-2-3:2022

Параметр мікроклімату	Рекомендований діапазон значень	Допустимий діапазон значень	Можливі наслідки при порушенні норм
Температура повітря	+18 °C ... +27 °C	+15 °C ... +32 °C	Теплове дроселювання, зменшення ресурсу жорстких дисків та АКБ.
Відносна вологість повітря	40 % ... 60 %	20 % ... 80 %	< 20%: Ризик електростатичних розрядів. > 80%: Ризик утворення конденсату.

Кінець таблиці 2.1

Температура точки роси	+5.5 °С ... +15 °С	-9 °С ... +17 °С	Утворення крапель води безпосередньо на мікросхемах та роз'ємах живлення.
Максимальна швидкість зміни температури	до 5 °С/год	до 5 °С/год	Різкі перепади викликають термомеханічні напруження та мікротріщини на друкованих платах.

2.2 Вимоги до мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату в серверній шафі та її структура

Щоб створити ефективну систему моніторингу повітря, потрібно правильно підібрати обладнання. Воно має точно вимірювати показники, працювати стабільно та охоплювати достатньо параметрів повітря. Потрібно впевнитись, що обладнання буде працювати без збоїв та виконувати моніторинг мікроклімату постійно. Саме це дає нам змогу безпечно лишати обладнання працювати без постійного нагляду людини.

Обладнання має бути універсальним і точним. Мікроконтролер повинен вміти одночасно працювати з різними типами сигналів: аналоговими, цифровими та звичайними логічними. Оскільки сервери чутливі до змін клімату, похибка вимірювання температури не має перевищувати десятих часток градуса. Такий самий підхід і до вологи. Також всі дроти й датчики необхідно захистити від електромагнітних перешкод, яких у серверній шафі завжди багато через роботу блоків живлення та вентиляторів.

Вимірювання мікроклімату виконується датчиками які приєднуються до мікроконтролера. Датчик DHT22 виконує вимірювання вологи та температури. Це покращений варіант DHT11, який також виконував ці ж функції, проте його похибка була зовелика. Завдяки ньому ми можемо спостерігати за температурою та вологою серверної шафи.

Датчик MQ-2 вимірює концентрацію горючих газів та диму в повітрі. В моніторингу серверної шафи, цей датчик відіграє роль системи раннього попередження про пожежу. Він здатен зафіксувати виділення специфічних газів ще на етапі тління ізоляції кабелів, задовго до появи вогню чи задимлення, на яке реагують стандартні оптичні пожежні сповіщувачі.

Окрім суто кліматичних показників, важливою частиною моніторингу є контроль фізичної цілісності серверної шафи, а саме чи закриті дверцята. За цим слідкує датчик Холла. Принцип його роботи базується в магнітному полі. На самі дверцята шафи встановлюється невеликий магніт, а модуль з датчиком кріпиться на нерухомій рамі. Коли двері зачинені, магнітне поле діє на датчик. Він передає мікроконтролеру логічну одиницю. Як тільки двері відчиняються і магніт віддаляється, датчик фіксує зміну стану і передає логічний нуль на мікроконтролер.

Вибір саме датчика Холла замість звичайних механічних кнопок чи класичних вимикачів був спеціальним. Головна причина це абсолютна надійність. Датчик Холла не має рухомих механічних частин, пружин чи металевих контактів, які з часом можуть зношуватися, окислюватися або заклинювати через накопичення пилу. Він працює повністю безконтактно, що забезпечує йому практично необмежений ресурс спрацьовувань.

Цей датчик використовується для підтримки стабільного мікроклімату. Сучасні серверні кімнати будуються за принципом поділу потоків повітря і відкриті двері шафи миттєво порушують цей контур охолодження. Якщо хтось залишить двері відчиненими після обслуговування, то ефективність кондиціонування різко впаде.

Наступний рівень це обробка інформації, яку забезпечує мікроконтролер Arduino. Він має достатньо обчислювальної потужності, щоб не просто збирати показники, а й одразу відфільтровувати їх від випадкових перешкод та шумів. Потужності хватає і для того, щоб вирішувати які показники слід відправити, а які можна проігнорувати. Завдяки цьому ми можемо зменшити використання трафіку в мережі та використовувати більше схожих пристроїв в майбутньому. Декілька портів живлення дозволяє нам використовувати різні варіанти заживлення системи. Вбудований регулятор напруги дає змогу підключати пристрій до багатьох блоків живлення. Мікроконтролер візьме стільки, скільки йому треба для роботи.

Для збереження та подальшої обробки даних використовується сервер Raspberry Pi. Це зекономить гроші на оренді хмарних сервісів та дозволить мати повний доступ до налаштувань системи. Завдяки цьому в майбутньому ми можемо збільшити кількість серверних шаф за мікрокліматом яких буде вестись моніторинг. Також відокремлення пристрою для обробки даних з серверних шаф є безпечнішим. У випадку, якщо щось станеться з серверною шафою, то відокремлений сервер продовжить працювати та оповістить про проблему.

Головна мета програмної частини це збереження даних та швидка реакція на них. Дані від мікроконтролера передаються за допомогою протоколу MQTT і записуються в базу даних InfluxDB. Це дає змогу пізніше будувати графіки та помічати проблеми. Логіка роботи системи, налаштована в середовищі Node-RED, вмє розрізняти звичайні попередження та аварії. Якщо показники виходять за межі норми, система надсилає сповіщення в Telegram.

Для більш зрозумілої візуалізації даних слід використовувати Grafana. Завдяки цьому інструменту ми зможемо зробити дошку зі всіма потрібними даними та зручно давати до неї доступ будь кому в локальній мережі або поза неї. Grafana дає можливість аналізувати історію всіх показників. Адміністратор може виділити потрібний період і переглянути, як змінювалася температура в серверній протягом останньої ночі, тижня або місяця. Це дозволяє виявляти

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проблеми на ранніх стадіях наприклад, помітити зниження ефективності кондиціонера чи перегрів обладнання в години пікових навантажень.

Також слід реалізувати механізм попередження користувачів про проблеми та на моменти, на які слід звернути увагу. Це може бути будь який месенджер або відправка на електрону пошту. Отримання такого повідомлення дозволить відповідальній особі дізнатись про стан та проблеми серверної шафи на відстані в будь який момент часу. Завдяки такому механізму можна попередити аварії.

Крім дистанційного попередження має бути ще локальне. Це може бути простий звуковий сигналізатор, який буде подавати сигнал у разі якоїсь проблеми. Це оповіщення дозволить миттєво відреагувати адміністратору, якщо він біля серверної шафи. Це попередження має працювати навіть якщо по якісь причині зв'язок з сервером обірвався.

Параметри мікроклімату, вимірювальні датчики та їх роль в моніторингу мікроклімату в серверній шафі зображені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вимірювальні датчики та їх роль в моніторингу мікроклімату в серверній шафі

Параметр мікроклімату	Вимірювальний датчик	Роль у системі моніторингу
Температура та відносна вологість	Цифровий датчик DHT22	Контроль температури. Запобігання перегріву, передчасній деградації кристалів, а також утворенню конденсату чи накопиченню статичної електрики.
Задимленість	Аналоговий газоаналізатор MQ-2	Фіксація появи диму від короткого замикання або відкритого загоряння електронних компонентів серверного обладнання.

Кінець таблиці 2.2

Чадний газ та продукти тління	Аналоговий газоаналізатор MQ-2	Рання діагностика небезпечних ситуацій: виявлення процесу тління ізоляції мідних чи оптичних кабелів ще до появи відкритого полум'я.
Горючі гази	Аналоговий газоаналізатор MQ-2	Додатковий рівень пожежної та вибухової безпеки.
Фізична цілісність шафи	Датчик Холла	Контроль замкненого контуру охолодження. Фіксація відчинення дверей, що порушує аеродинаміку "холодних" та "гарячих" коридорів і призводить до стрімкого зростання температури всередині шафи.

Структурну схему системи моніторингу мікроклімату в серверній шафі наведено на рис. 2.1. Вона демонструє трирівневу IoT-архітектуру та повний шлях проходження даних: від збору фізичних показників до їх збереження та візуалізації.

На сенсорному рівні працює контролер Arduino. Центральним вузлом обробки виступає мікрокомп'ютер Raspberry Pi. Дані від сенсорів передаються сюди через MQTT-брокер і надходять до середовища Node-RED, де виконується вся логіка. Далі інформація записується до бази даних InfluxDB. Для перетворення зібраної статистики на зручні графіки використовується сервер Grafana.

Для оперативного інформування налаштовано двосторонній зв'язок через Telegram-бота. Завдяки йому система автоматично надсилає попередження про критичні події в серверній шафі, а адміністратор може в будь-який момент надіслати запит для отримання актуальних показників з датчиків.

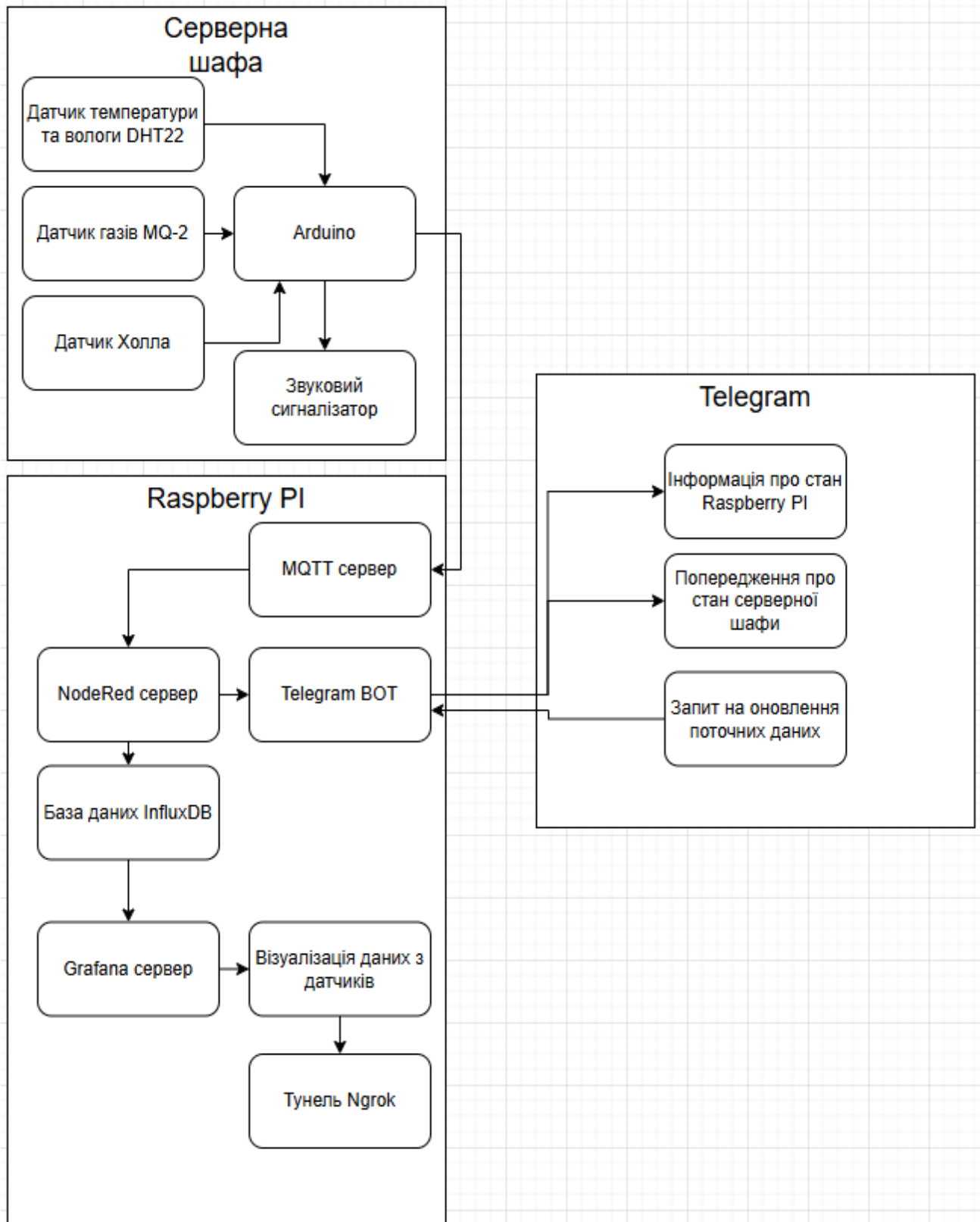


Рисунок 2.1 – Структура мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату в серверній шафі

2.3 Визначення апаратних складових проєкта

Щоб створити ефективну систему моніторингу мікроклімату, потрібно уважно підібрати обладнання. Воно має точно вимірювати показники та стабільно працювати.

Для проєкта було вибрана плата розробника Arduino Uno WiFi R3 яка зображена на рисунку 2.2. Вона поєднує в собі два мікроконтролери: ATmega328P та ESP8266 Wi-Fi module. Така архітектура дозволяє розділити обчислювальні задачі: мікроконтролер ATmega328P відповідає за зчитування даних із датчиків, тоді як ESP8266 забезпечує бездротову передачу даних через мережу Wi-Fi до сервера. Це дозволило зручно під'єднувати датчики до плати та забезпечило більш гнучкі варіанти заживлення системи. Крім того цей варіант є більш економічним рішенням, що також є великим плюсом.



Рисунок 2.2 – Плата розробника Arduino Uno WiFi R3 [10]

Важливою деталлю є і мережеві характеристики плати. Arduino Uno WiFi R3 поставляється з вбудованою антеною, але також має роз'єм IPEX для підключення зовнішньої антени. Для системи моніторингу мікроклімату це має важливе значення. Серверна шафа це суцільний металевий ящик, який погано пропускає радіохвилі. Вбудована антена могла б втрачати зв'язок крізь товсті металеві дверцята та стінки. Наявність роз'єму IPEX дає змогу підключити зовнішню антену на кабелі та винести її за межі металевого корпусу шафи, збільшивши дальність сигналу. Це гарантує стабільний обмін даними навіть у складних умовах.

Ще однією важливою технічною особливістю обраної плати є спосіб взаємодії двох її мікроконтролерів. ATmega328P та ESP8266 спілкуються між собою через вбудований послідовний порт. Завдяки цьому ми змогли реалізувати ефективну та стабільну програмну логіку. Основний контролер фокусується виключно на фізичному світі. Він опитує датчики, фільтрує перешкоди, пакує отримані цифри у зручний текстовий формат і просто передає цей пакет по внутрішньому порту. Модуль ESP8266 виконує всю складну мережеву роботу: підтримує TCP/IP з'єднання, шифрує трафік та відправляє дані на сервер. Завдяки такому розподілу, мікроконтролери не перевантажують один одного.

Також класична архітектура Arduino та більшість сенсорів вимагають для нормальної роботи робочу напругу 5 Вольт. Водночас Wi-Fi модуль ESP8266 є делікатним, його логіка працює тільки від 3.3 Вольт. Подача п'яти вольт на нього призвела б до виходу чипа з ладу. Плата Arduino Uno WiFi R3 вже має на платі понижуючі стабілізатори та схеми узгодження логічних рівнів. Це позбавило нас необхідності паяти додаткові зовнішні модулі живлення.

Для виявлення диму та інших знаків загорання в системі передбачено аналоговий газоаналізатор MQ-2. На відміну від звичайних оптичних датчиків диму, які зазвичай висять на стелі і спрацьовують вже тоді, коли приміщення затягує густим димом, MQ-2 відіграє роль системи надраннього попередження.

Він здатен вловлювати мінімальні концентрації чадного газу та продуктів горіння, які виділяються під час плавлення пластику чи тління ізоляції кабелів.

У середині цього датчика розташований чутливий елемент, який постійно підігрівається мікроскопічною спіраллю. У чистому повітрі він має високий опір, але як тільки в середовищі з'являються частинки горючих газів або диму, опір датчика різко падає. Мікроконтролер безперервно зчитує цю зміну напруги через свій аналого-цифровий перетворювач. Отримані аналогові значення переводяться у цифровий формат і відправляються на головний сервер. Якщо показники вище заданої норми, система реєструє аварію.

Проте використання MQ-2 має одну важливу інженерну особливість. Йому треба час щоб розігрітись та почати працювати. Чутливий елемент потребує високої температури для коректної роботи та у перші кілька хвилин після подачі живлення на плату він є нестабільним і може видавати не правильні, сильно завищені показники, тому цей момент потрібно врахувати. Газоаналізатор MQ-2 зображений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 - Газоаналізатор MQ-2 [2]

За постійний контроль кліматичних показників у системі відповідає цифровий датчик температури та відносної вологості DHT22. У моніторингу серверної шафи ці два параметри є головними для безперебійної роботи обладнання.

Датчик DHT22 гарантує високу точність: похибка вимірювання температури не перевищує 0.5 °C, а вологості 2-5%. Це дозволяє системі фіксувати коливання мікроклімату та виявляти перегрів ще до того, як вони

стануть критичними. Також він має ширший робочий діапазон, що дозволяє апаратній частині працювати, не виходити з ладу та продовжувати передачу даних у випадку аварійних ситуацій. Датчик температури та відносної вологості DHT22 зображений на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Датчик температури та відносної вологості DHT22 [3]

Окрім моніторингу показників, складовою також є контроль фізичного стану серверної шафи, а саме фіксація відчинення та зачинення її дверей. Для такої функції було обрано модуль, побудований на базі датчика Холла та мікросхеми-компаратора LM393.

Як тільки магніт віддаляється на потрібну відстань, компаратор LM393 миттєво перемикає свій цифровий вихід. Це розвантажує основний мікроконтролер ATmega328P. Йому не потрібно аналізувати плавні графіки напруги, він просто зчитує готовий та рівний цифровий імпульс. Датчик Холла LM393 зображений на рисунку 2.5



Рисунок 2.5 – Датчик Холла LM393 [4]

Raspberry Pi 4 Model B – це центр проєкта. У архітектурі він виконує роль головного локального сервера, який приймає, аналізує, зберігає та візуалізує всі дані про мікроклімат у серверній шафі.

Замість того, щоб орендувати потужності на сторонніх хмарних сервісах, ми розгорнули всю серверну інфраструктуру локально. На базі операційної системи Linux тут одночасно працюють: брокер повідомлень MQTT, часова база даних InfluxDB, середовище програмування логіки Node-RED та вебсервер Grafana.

Вибір саме четвертого покоління мікрокомп'ютера з об'ємом оперативної пам'яті 2 ГБ було спеціальним. Воно забезпечило середину між продуктивністю та вартістю. З одного боку, бази даних і важкі вебдашборди є досить вимогливими до ресурсів. З іншого боку, купувати дорожчі модифікації Raspberry Pi 4 на 4 ГБ або 8 ГБ оперативної пам'яті для завдань моніторингу немає сенсу, бо більша частина цих ресурсів просто б простоювала.

Використання старіших плат або базової версії на 1 ГБ оперативної пам'яті призвело б до сповільнення системи під час завантаження графіків за тривалий період або до закриття програм через брак пам'яті. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B зображено на рисунку 2.6.

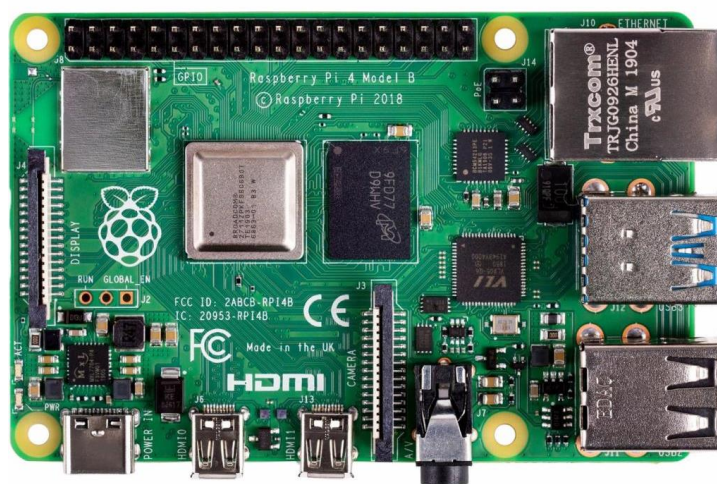


Рисунок 2.6 – Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4 Model B [8]

Також перевагою Raspberry Pi 4 для проєкту є наявність гігабітного порту Ethernet. Пристрій монтується в серверну шафу, де ефір сильно зашумлений електромагнітними перешкодами. Можливість підключити сервер до комутатора звичайним кабелем гарантує надійність та безпеку зв'язку. Всі технічні характеристики мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 Model B позначенні в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристики мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4 Model B

Характеристика	Технічне значення
Процесор	Broadcom BCM2711, 4-ядерний Cortex-A72 64-bit @ 1.5 ГГц
Оперативна пам'ять	2 ГБ LPDDR4-3200 SDRAM
Мережеві інтерфейси	Gigabit Ethernet, дводіапазонний Wi-Fi 802.11ac, Bluetooth 5.0
Зберігання даних	Слот для MicroSD-карти
Порти введення/виведення	Стандартний 40-піновий роз'єм GPIO
Інтерфейси підключення	2 USB 3.0, 2 USB 2.0
Живлення	5В постійного струму через USB-C або PoE
Робочі температури	Від 0 °C до 50 °C

2.4 Електрична схема мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату у серверній шафі

Для апаратної реалізації системи моніторингу, яка відповідає за збір даних про мікроклімат та фізичну цілісність серверної шафи, було розроблено електричну схему. Її базою виступає плата розробника Arduino Uno WiFi R3, яка об'єднує всі сенсори та звукове оповіщення в єдиний пристрій.

Організація живлення реалізована на спільній робочій напрузі всіх модулів. Напруга живлення 5 В знімається з виводу мікроконтролера та подається на контакти VCC кожного з датчиків. Заземлення підключене до виводу GND плати. Таке рішення дозволяє жити всю сенсорну частину від вбудованого стабілізатора Arduino без необхідності додавати в схему зовнішні перетворювачі напруги.

Аналоговий газоаналізатор MQ-2, який фіксує появу диму та продуктів горіння, підключено своїм виводом AOUT до порту A0 мікроконтролера. Цей датчик генерує напругу, пропорційну концентрації газів, використання саме аналогового входу дозволяє задіяти вбудований перетворювач з аналогового сигналу в цифровий для розпізнавання рівня небезпеки.

Інші сенсори працюють із цифровими сигналами. Датчик температури та вологості DHT22 з'єднано виводом OUT із цифровим портом D2, по якому він передає готові пакети даних через однопровідну шину. Магнітний датчик Холла, що контролює замкнений контур охолодження, підключений виводом D0 до порту D3.

Для локального звукового оповіщення в системі застосовано активний зумер. Коли він дає звук, то може споживати струм, значення якого наближається до граничних для цифрових виходів Arduino. Тому підключення зумера до портів мікроконтролера створює ризик перевантаження та може призвести до виходу плати з ладу.

Щоб запобігти цьому та захистити мікроконтролер, у схемі зроблено струмообмеження. Сигнальний контакт зумера з'єднано з цифровим портом D8 через резистор номіналом 220 Ом, що гарантує безпечний режим роботи порту, хоч і звук буде трішки тихішим.

Повна електрична принципова схема розробленої мікропроцесорної системи, яка відображає підключення всіх датчиків та сигналізації, наведена на рис. 2.7. Для наочності та зручності технічного обслуговування розробленої системи моніторингу, вся інформація щодо під'єднань зведена у структуровану

специфікацію. У таблиці 2.3 відображено архітектуру підключення кожного окремого периферійного модуля до портів головної плати розробника Arduino Uno WiFi R3.

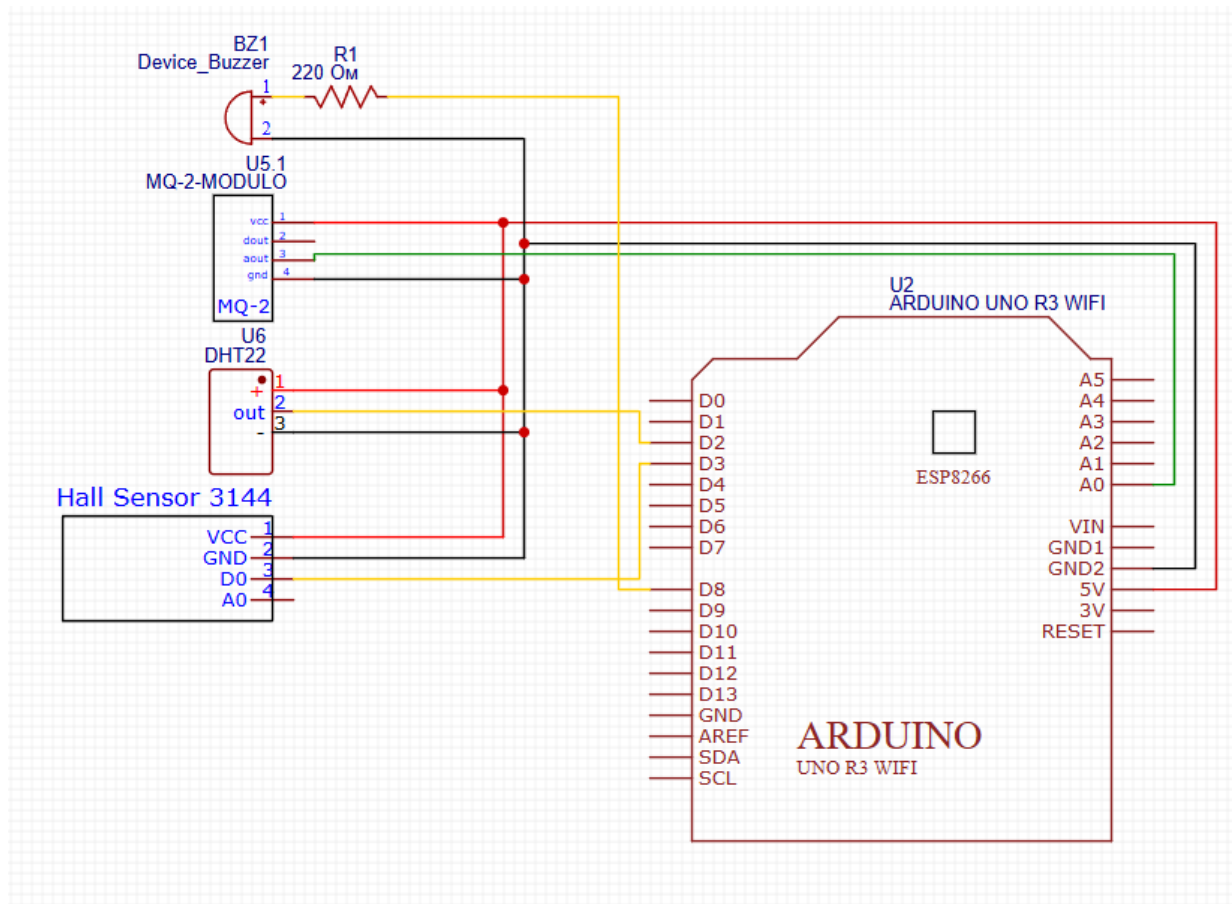


Рисунок 2.7 – Електрична схема мікропроцесорної системи моніторингу мікроклімату в серверній шафі

Таблиця 2.3 – Специфікація підключення периферії до плати розробника

Компонент	Вивід модуля	Порт Arduino	Тип сигналу
MQ-2	AOUT	A0	Аналоговий
DHT22	OUT	D2	Цифровий
Hall Sensor 3144	D0	D3	Цифровий
Buzzer	+	D8	Цифровий

2.5 Висновки до другого розділу

У другому розділі здійснено проектування апаратної частини системи моніторингу серверної шафи та обґрунтовано вибір усіх електронних компонентів. Пристрій з датчиками побудовано на базі гібридної плати Arduino Uno WiFi R3, що дозволило розділити задачі збору даних мікроконтролером ATmega328P та їх бездротової передачі через чип ESP8266.

Цифровий датчик DHT22 контролює кліматичні параметри, аналоговий газоаналізатор MQ-2 забезпечує пожежну безпеку, а датчик Холла фіксує стан дверей для збереження контуру охолодження.

Роль центрального локального сервера у спроектованій системі виконує одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4. Вибір саме локального вузла дозволив створити автономну систему, яка працює без обов'язкового підключення до зовнішнього інтернету та не залежить від працездатності сторонніх хмарних сервісів.

Усі процеси збору, обробки та аналізу даних відбуваються всередині серверної шафи, що збільшує рівень безпеки та захисту інформації. Обчислювальних ресурсів процесора та оперативної пам'яті мікрокомп'ютера вистачає для одночасного функціонування MQTT-брокера, бази даних InfluxDB та платформи візуалізації Grafana, навіть за умови безперервного потоку даних.

Таким чином, спроектована апаратна архітектура є надійною, компактною, економічно обґрунтованою та створює міцний фундамент для наступного етапу розробки програмного забезпечення.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ МІКРОКЛІМАТУ СЕРВЕРНОЇ ШАФИ

3.1 Створення основи сервера для прототипування системи моніторингу мікроклімату

Для реалізації центрального сервера в системі моніторингу мікроклімату вирішено було використовувати мікрокомп'ютер Raspberry Pi 4. Цей пристрій поєднує в собі низьке енергоспоживання, компактні розміри та високу продуктивність, якої вистачає для цілодобової обробки даних.

На відміну від стандартних системних блоків або серверів, Raspberry Pi 4 майже не займає простору в стійці і не генерує додаткового тепла. Це є важливо, адже власне тепловиділення сервера моніторингу не повинно впливати на мікроклімат шафи, який намагаємося контролювати. Мікрокомп'ютер можна змонтувати на стінці або будь-якій полиці всередині серверної шафи, де він виконуватиме збір зі всіх підключених датчиків та мікроконтролерів, або назовні.

Налаштування такого сервера розпочинається з підготовки флеш карти та встановлення операційної системи з графічним інтерфейсом. Хоча використання десктопної версії збільшує фонове навантаження на оперативну пам'ять та процесор, апаратної потужності Raspberry Pi 4 цілком достатньо для стабільної паралельної роботи як самої графічної оболонки, так і всіх необхідних серверних застосунків.

Наявність графічного інтерфейсу є виправданою, оскільки вона суттєво спрощує процес початкового конфігурування, налаштування мережевих підключень та полегшує подальше локальне адміністрування пристрою. Запис готового образу операційної системи на карту пам'яті здійснюється за допомогою спеціальної програми. Програма для створення образу системи зображена на рисунку 3.1.

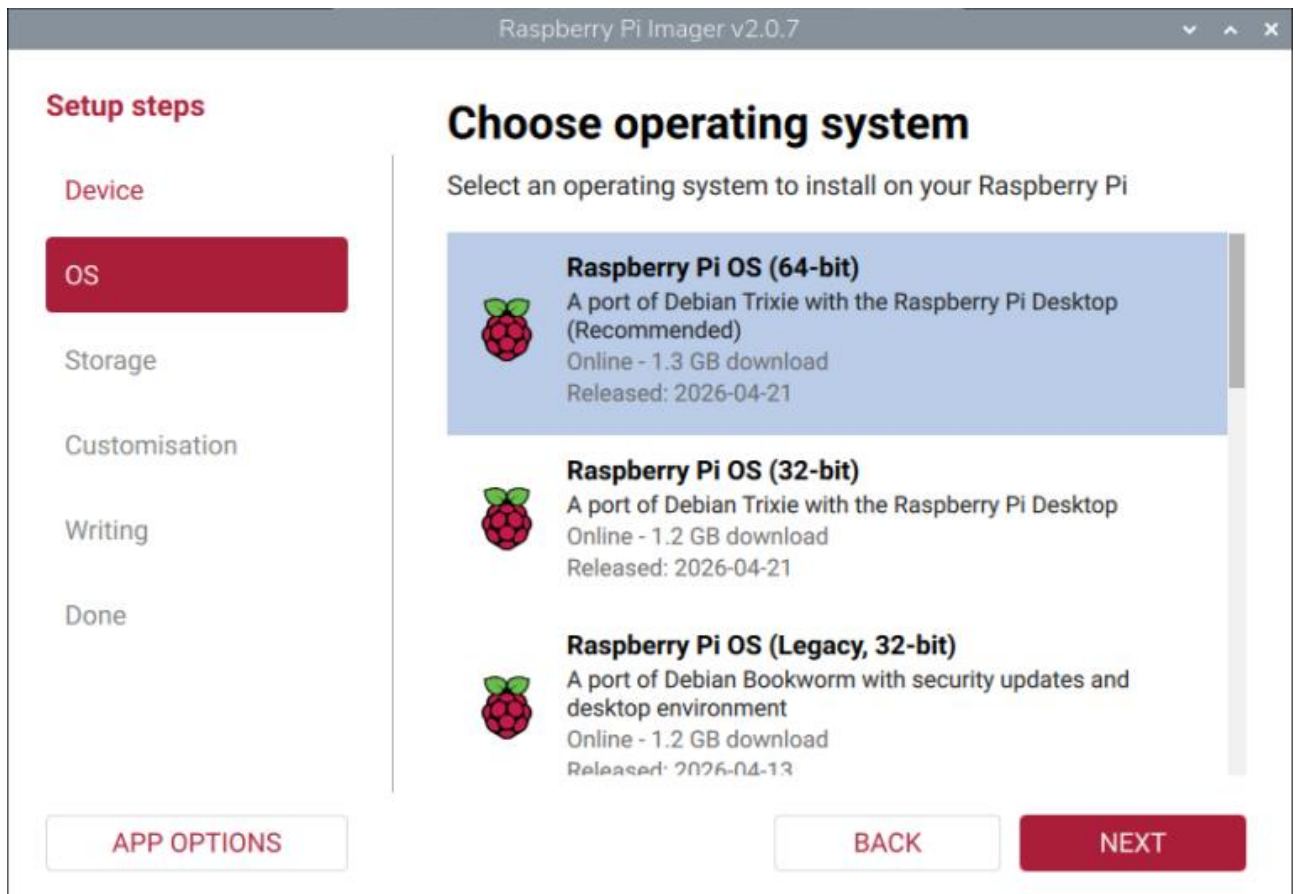


Рисунок 3.1 – Програма для створення образу системи

Наявність візуального інтерфейсу спрощує процес конфігурування мережі, локального адміністрування та управління файловою системою. Крім того, це дає змогу виводити графіки та дашборди на підключений до мікрокомп'ютера дисплей, або ж здійснювати віддалене керування пристроєм за допомогою VNC. Це робить взаємодію із системою легкою та зрозумілою порівняно з консольним доступом.

Для віддаленого управління сервером та взаємодії з його графічним інтерфейсом у проєкті використовується програмне забезпечення RealVNC. Воно дозволяє здійснювати підключення до робочого стола сервера з будь-якого іншого пристрою, що знаходиться в тій самій локальній мережі. Такий підхід є зручним для нашої системи моніторингу, оскільки мікрокомп'ютер фізично монтується всередині серверної шафи, де підключення окремого монітора, клавіатури та миші є незручним або взагалі неможливим.

Завдяки розгорнутому та налаштованому VNC-серверу, адміністратор може в режимі реального часу бачити екран пристрою і керувати ним. Це спрощує процеси конфігурування бази даних, налаштування MQTT-брокера та моніторингу роботи системи загалом, зберігаючи при цьому всі переваги використання повноцінної десктопної операційної системи без прив'язки до фізичного робочого місця. Робочий стіл створеного сервера зображений на рисунку 3.2.

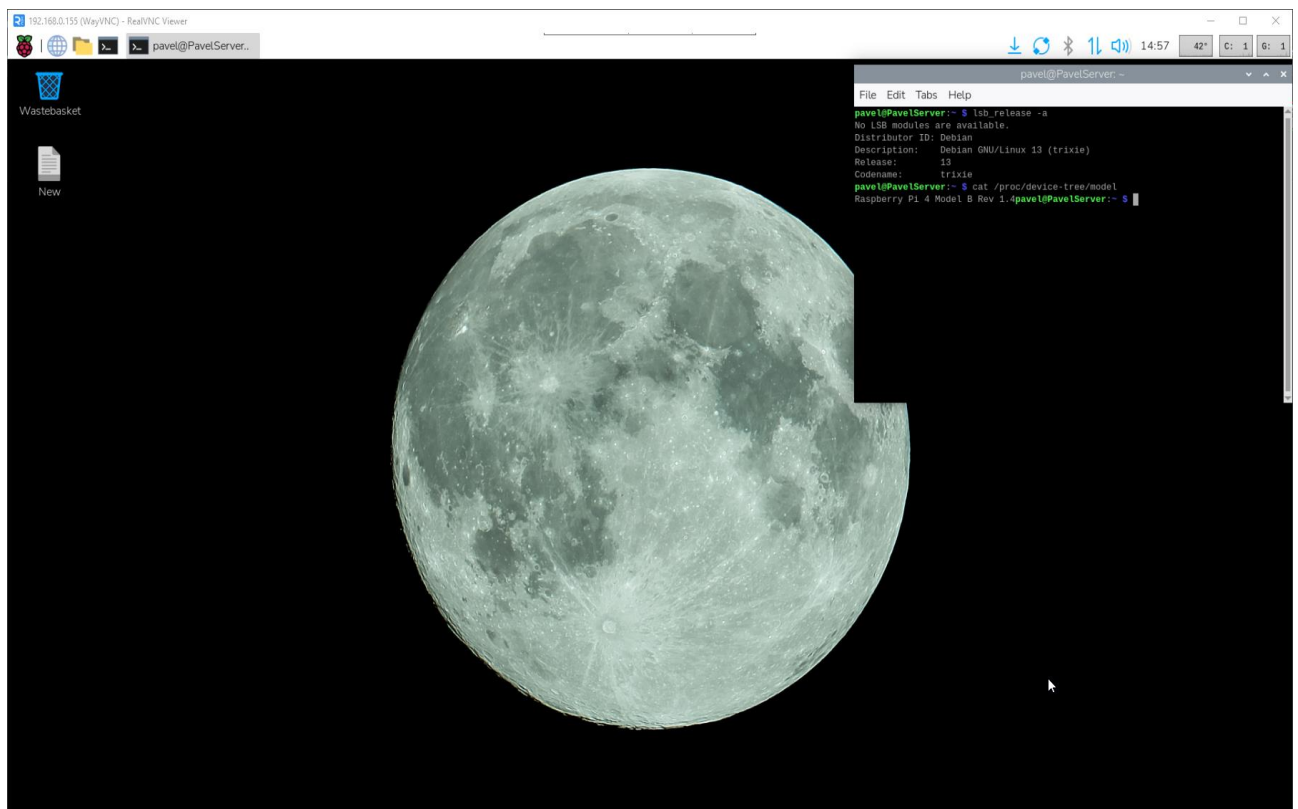


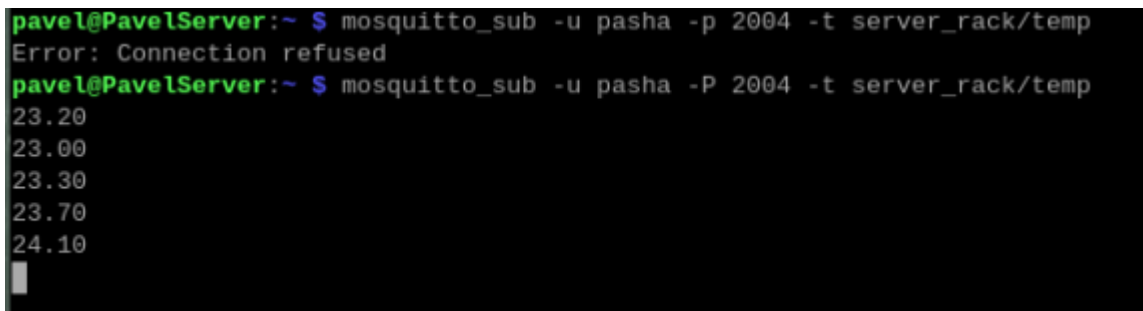
Рисунок. 3.2 – Робочий стіл сервера

Наступним кроком є встановлення програмного забезпечення, яке буде відповідати за прийом даних від мікроконтролера. Таким ПЗ буде MQTT-брокер. Популярним та безкоштовним рішенням для мікрокомп'ютерів є брокер Mosquitto. Він підходить для завдань моніторингу мікроклімату, оскільки споживає мінімум системних ресурсів та здатен швидко обробляти потік повідомлень від датчиків.

Встановлення виконується за допомогою кількох команд у терміналі. Всі потрібні файли завантажуються з офіційних репозиторіїв та встановлюються на пристрої. Перевагою Mosquitto є те, що після інсталяції він одразу реєструється як системна служба. Брокер сам запускається у фоновому режимі при кожному увімкненні сервера та не потрібно кожен раз включати його знову.

Перед використанням брокера нам потрібно додати налаштування безпеки. Це буде ім'я користувача та пароль до нього. Тільки з використанням аутентифікації користувач зможе відправляти повідомлення та підписуватись на теми. Це є обов'язковий рівень безпеки.

Одразу після встановлення брокер розпочинає слухати порт 1883 в очікуванні вхідних підключень. Підписавшись на якусь тему ми можемо спостерігати за повідомленнями, які на неї приходять. Підпис на тему зображено на рисунку 3.3.



```
pavel@PavelServer:~ $ mosquitto_sub -u pasha -p 2004 -t server_rack/temp
Error: Connection refused
pavel@PavelServer:~ $ mosquitto_sub -u pasha -P 2004 -t server_rack/temp
23.20
23.00
23.30
23.70
24.10
```

Рисунок 3.3 – Отримання повідомлення в темі «server_rack/temp»

Хоча сервер уже налаштовано і функціонує, існує ризик, що він перестане відповідати. Домашні або офісні маршрутизатори автоматично видають усім підключеним пристроям динамічні айпі. Це означає, що після перезавантаження роутера або самого мікрокомп'ютера, сервер може отримати нову адресу. У такому випадку вся побудована архітектура вийде з ладу. Мікроконтролери не зможуть відправити показники мікроклімату на сервер, а користувач втратить доступ через RealVNC, бо вони намагатимуться звернутися до сервера за його старим айпі.

Щоб такого не було, серверу необхідно призначити статичну IP-адресу. Для цього є метод резервування адреси на рівні маршрутизатора. Необхідно увійти в управління роутером та створити правило, яке закріплює унікальну фізичну адресу мережевого адаптера Raspberry Pi за конкретним локальним айпі. Завдяки цьому, при кожному новому підключенні роутер розпізнаватиме наш сервер і завжди видаватиме йому одну й ту саму адресу, що є умовою для стабільного функціонування будь-якого мережевого обладнання. Панель управління адресами у роутері зображена на рисунку 3.4.

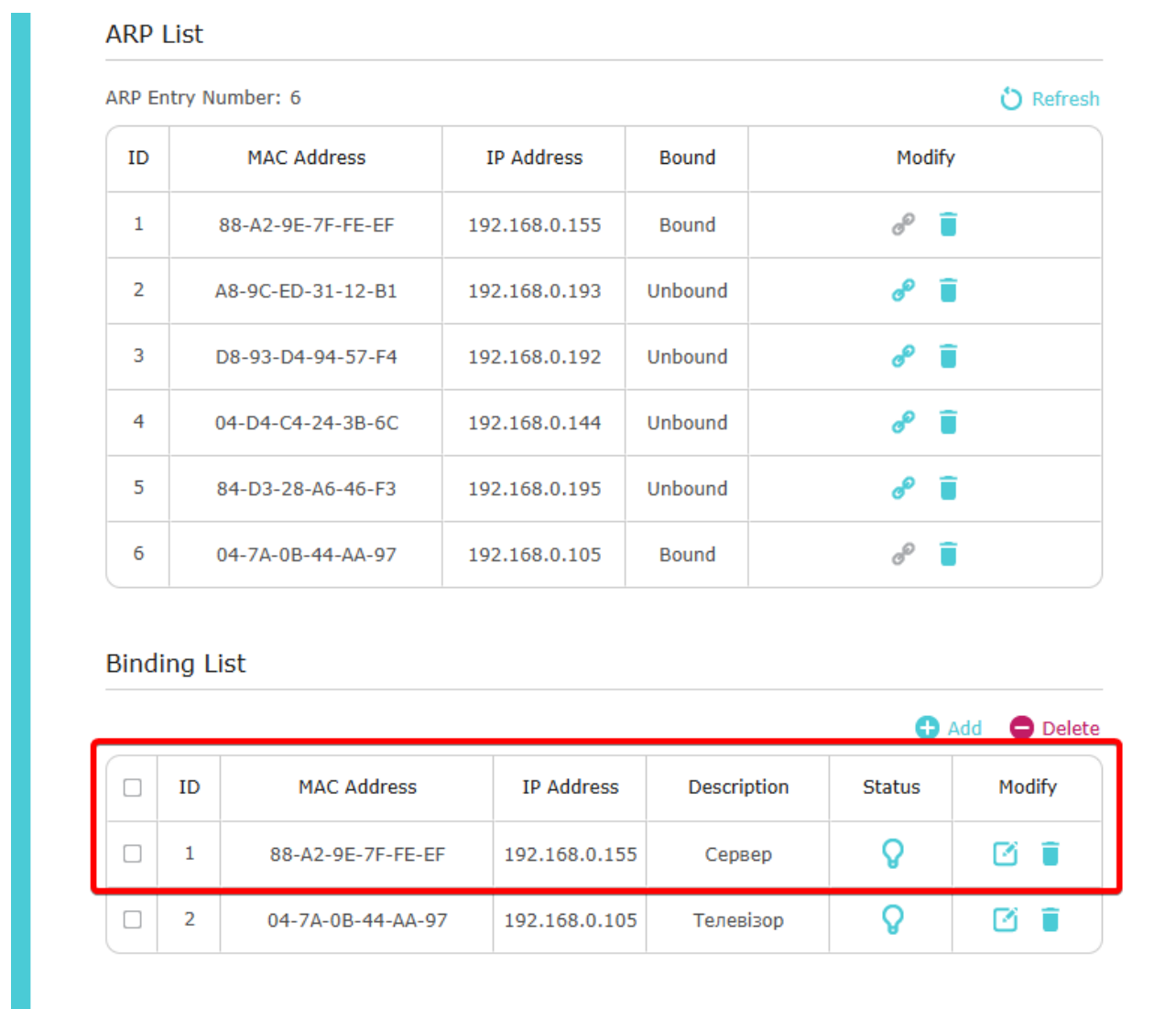


Рисунок 3.4 – Панель управління адресами у роутері

Результат підключення сервера в локальну мережу зображено на рисунку 3.5. Тут мікрокомп'ютер поміщений у захисний корпус та під'єднаний до електроживлення. Для забезпечення надійності передачі даних та уникнення перешкод від бездротових мереж, з'єднання з роутером реалізовано за допомогою кабелю, а не через Wi-Fi. Таке підключення гарантує безперебійний зв'язок між усіма компонентами системи моніторингу без втрат пакетів чи раптових розривів з'єднання.



Рисунок 3.5 – Підключення сервера у локальній мережі

3.2 Створення прототипу мікропроцесорної системи

Наступним етапом розробки є збірка мікропроцесорної системи, яка буде знаходитись у серверній шафі та відповідатиме за збір даних. Основою виступає мікроконтролерна плата Arduino Uno WiFi R3. Вона підходить для нашого завдання, оскільки плата поєднує в собі мікроконтролер для обробки сигналів та інтегрований модуль Wi-Fi із зовнішньою антеною. Наявність такої антени дозволяє вивести сигнал з металевого корпусу серверної шафи, який буде погано пропускати його.

Для макетування електричних кіл використовується макетна плата. Вона дозволяє під'єднувати всі необхідні електронні компоненти та об'єднувати їх у

єдину систему за допомогою проводів. Завдяки цієї плати ми можемо використовувати один порт заземлення та 5 вольт лінію щоб підключити безліч датчиків. Це зменшує потрібну кількість проводів. Такий підхід дозволяє легко змінювати конфігурацію пристрою та додавати нові модулі в процесі тестування без необхідності перепаявання контактів.

До апаратної частини прототипу під'єднані периферійні модулі. Окрім базових датчиків для вимірювання температури та вологості, які постійно відстежують стан мікроклімату серверної шафи, система оснащена аналоговим датчиком газу та диму. Це датчик для безпеки серверного обладнання який дозволяє на ранніх стадіях виявляти займання ізоляції проводів або задимлення від перегрітих компонентів. Крім того, у схемі передбачений зумер, який виконує роль звукової сигналізації. Якщо показники від датчиків перевищують допустиму норму, система не лише відправляє сповіщення на сервер, але й активує гучний звуковий сигнал на місці і цей сигнал буде працювати без підключення до мережі.

В рамках проектування було прийняте рішення використовувати акумулятор для джерела живлення розробленого прототипу. Перш за все, це забезпечує системі автономність та гнучкість монтажу. Зібрану мікропроцесорну систему із датчиками можна розмістити на полиці або закріпити на стінці серверної шафи. Проте підключити її до іншого джерела живлення не є проблемою. Це може бути як і через окремий блок живлення, так і через звичайний USB роз'єм в серверній шафі. Головне, щоб цей порт працював в незалежності від того чи включений пристрій чи ні.

Після об'єднання всіх апаратних компонентів мікроконтролерної плати, макетної плати з підключеними сенсорами, модулем звукової сигналізації та автономним джерелом живлення формується єдиний, готовий до тестування вузол моніторингу. Загальний зовнішній вигляд прототипу зображено на рисунку 3.6.

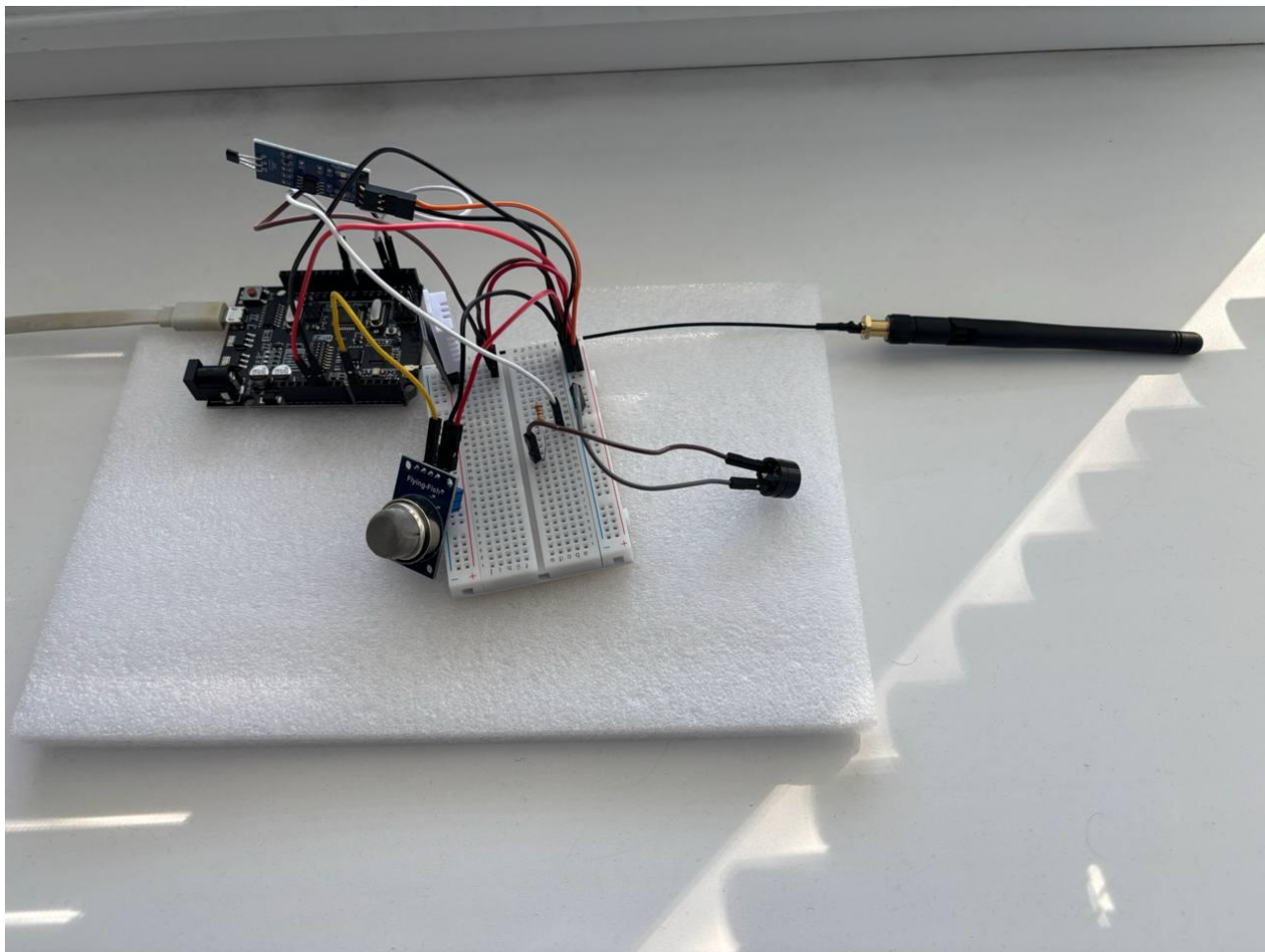


Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд прототипу

3.3 Створення програмного коду для Arduino

Апаратна частина без програмного коду залишається лише набором датчиків та проводів. Щоб перетворити цей макет на готовий пристрій було розроблено програмне забезпечення, яке керує платою. Для написання програми використовувалося середовище Arduino IDE, а мовою розробки обрано C++. Так ми можемо використовувати бібліотеки, що спрощують налаштування сенсорів та роботу зі мережевими протоколами.

Завдяки цьому створено зчитування з датчиків, перетворення аналогових сигналів газоаналізатора та перевірку хибних спрацювань магнітного датчика. Програмний код виконує функцію первинної обробки: він фільтрує показники та форматує зчитані дані у пакети, готові до трансляції через модуль зв'язку.

Використання C++ забезпечує швидкість виконання інструкцій та зменшує використання оперативної пам'яті плати, що є важливо для систем, орієнтованих на цілодобову безперебійну роботу.

Архітектурно код прошивки класично поділяється на конфігураційний блок та безперервний робочий цикл. Спочатку мікроконтролер виконує стартову підготовку: ініціалізує контакти, підключається до мережі роутера та авторизується на MQTT-сервері.

Після цього система переходить до основного циклу, де із заданою періодичністю зчитує показники температури, вологості та задимленості. Отримані аналогові й цифрові сигнали конвертуються у числовий формат і упаковуються в повідомлення для відправки на центральний сервер.

Особливістю алгоритму є вбудований механізм локальної безпеки та відмовостійкості. Перед відправкою даних у мережу мікроконтролер перевіряє їх на перевищення меж. Якщо фіксується небезпека, плата активує звукову тривогу через зумер, не чекаючи команд від сервера. Крім того, у коді передбачено автоматичне відновлення зв'язку: якщо з'єднання з Wi-Fi або брокером тимчасово втрачається, пристрій не зависає, а самостійно намагається перепідключитися, забезпечуючи стабільну роботу системи.

Функція `setup()` виконує початкове налаштування мікроконтролера. У ній ініціалізується послідовний порт для передачі даних, що використовується для обміну інформацією з Wi-Fi модулем. Встановлюються режими роботи пінів: інфрачервоний датчик працює як вхід, а баззер як вихід. Також ініціалізується датчик температури та вологості DHT22. Додатково виконується заповнення буфера значень газового сенсора нулями, що необхідно для коректної роботи алгоритму фільтрації.

Функція `getFilteredGas()` реалізує згладжування показників газового сенсора MQ-2 за допомогою ковзного середнього. Для цього використовується масив фіксованого розміру, у який послідовно записуються останні значення сигналу. Після кожного нового вимірювання відбувається сумування всіх

елементів масиву та обчислення середнього значення. Такий підхід дозволяє зменшити вплив шумів і випадкових коливань сигналу, що є характерними для газових сенсорів.

Функція `updateBuzzer()` забезпечує роботу баззера у неблокуючому режимі. Відтворення сигналу відбувається за умови активної тривоги та завершення періоду калібрування сенсора. Повтор сигналу здійснюється з інтервалом у дві хвилини.

Функція `loop()` є центральною частиною програми, яка безперервно виконується під час роботи пристрою. У ній здійснюється зчитування даних із датчиків температури, вологості, газу та стану дверей. Також визначається, чи завершено період прогріву газового сенсора, протягом якого його показники не враховуються. На основі отриманих даних формується логіка тривоги: якщо значення перевищують задані пороги, активується сигналізація.

На рисунку 3.7 представлено детальну блок-схему алгоритму роботи мікропроцесорної системи моніторингу, реалізованого на платі Arduino. Цей алгоритм має циклічну структуру і логічно поділяється на кілька етапів.

Першим кроком є базовий етап ініціалізації, під час якого конфігуруються порти вводу/виводу мікроконтролера, а також виконується системна затримка, необхідна для первинного прогріву газоаналізатора.

Після старту програма переходить до основного безперервного циклу. На цьому етапі мікроконтролер послідовно здійснює зчитування аналогових та цифрових показників із кліматичних сенсорів і магнітного датчика Холла. Отримані значення проходять перевірку. У разі виявлення відхилень спрацьовує умова тривоги, яка активує звукову сигналізацію через зумер, не чекаючи відповіді від сервера.

На завершальному кроці циклу алгоритм пакує відфільтровані показники у текстовий формат та передає зібрані дані до зовнішньої системи для її збору та відображення.

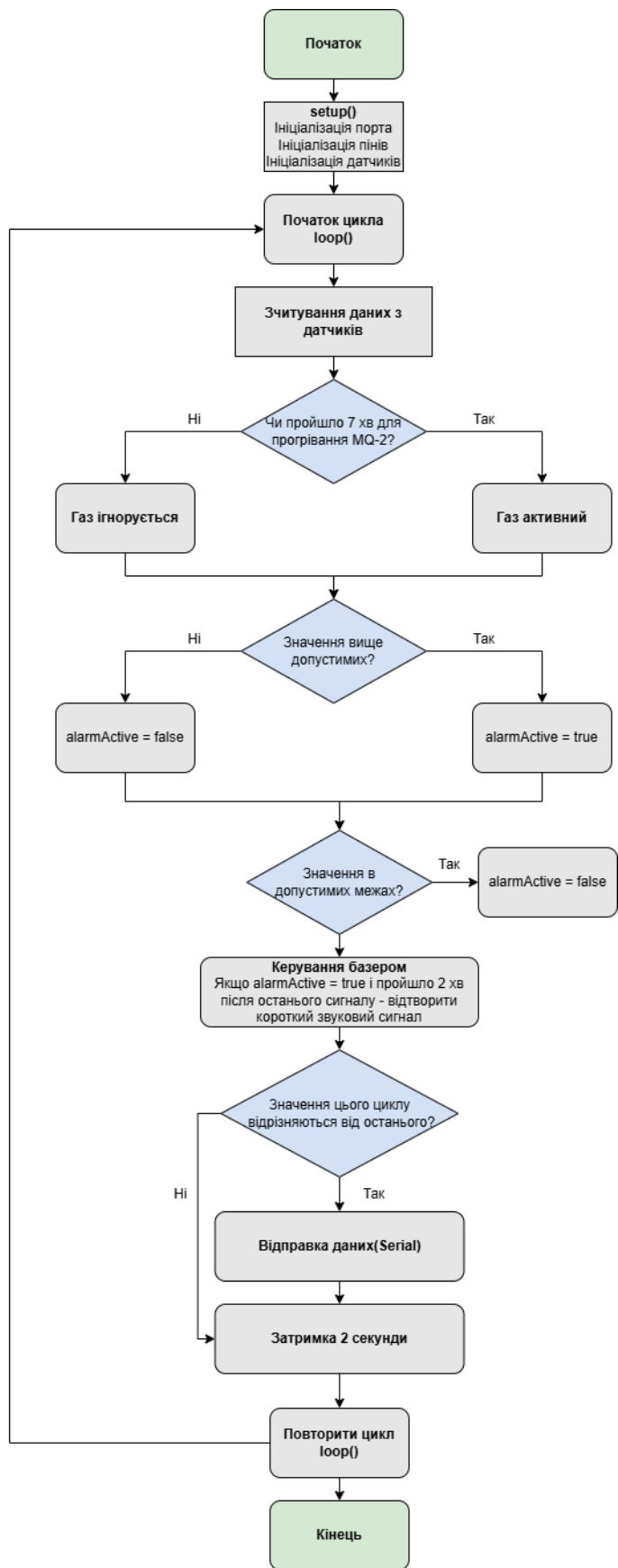


Рисунок 3.7 – Блок-схема алгоритму роботи системи моніторингу на платі Arduino

3.4. Створення програмного коду для Wi-Fi модуля Arduino

Оскільки система моніторингу має працювати віддалено та передавати дані без використання проводів, важливою складовою є налаштування мережевого зв'язку. На платі Arduino Uno WiFi R3 за цей процес відповідає вбудований Wi-Fi модуль. Програмний код, написаний для нього, виконує роль цифрового мосту. Він з'єднує апаратну частину з нашою локальною мережею та центральним сервером Raspberry Pi. Без правильної роботи цього модуля всі зібрані дані залишалися лише всередині мікроконтролера.

На початку коду використовуються потрібні бібліотеки, які дозволяють нам комунікувати з мережею. Далі задаються параметри підключення до Wi-Fi мережі, а також дані для авторизації на MQTT-брокері. Створюються об'єкти WiFiClient та PubSubClient, які використовуються для встановлення мережевого та MQTT-з'єднання. Змінна buffer застосовується для накопичення вхідних даних із послідовного порту.

Функція connectWiFi() відповідає за встановлення з'єднання з бездротовою мережею. Перед підключенням перевіряється поточний стан мережі, щоб уникнути повторних викликів. У разі відсутності підключення виконується ініціалізація з'єднання за допомогою WiFi.begin(). Використання функції yield() дозволяє уникнути перезавантаження мікроконтролера через watchdog-таймер під час очікування.

Функція reconnectMQTT() виконує встановлення з'єднання з MQTT-брокером. Якщо з'єднання вже активне, функція повертає позитивний результат. В іншому випадку формується унікальний ідентифікатор клієнта, після чого здійснюється спроба підключення із використанням логіна та пароля. Функція повертає логічне значення, яке показує чи успішне підключення чи ні.

Функція setup() виконує початкове налаштування мікроконтролера. У ній задається порт для обміну даними з платою Arduino, а також встановлюється

режим роботи як клієнта. Після цього викликається функція підключення до мережі Wi-Fi та задається адреса брокера разом із його портом.

Функція `sendToMQTT` відповідає за обробку та відправку даних на MQTT-брокер. Вона аналізує отриманий рядок і визначає тип даних за префіксом: температура (T:), вологість (H:), рівень газу (G:) або стан перешкоди (O:). Залежно від типу значення публікується у відповідний MQTT-топік. Для кожного топика встановлено прапорець `retained`, що дозволяє брокеру зберігати останнє значення.

Функція `loop()` забезпечує безперервну роботу системи. На початку викликається `yield()` для запобігання спрацюванню таймера. Далі перевіряється стан Wi-Fi підключення і, за необхідності, виконується повторне підключення. Так само контролюється з'єднання з MQTT-брокером: у разі розриву виконується повторна спроба підключення з інтервалом 5 секунд. Якщо з'єднання активне, викликається `client.loop()` для підтримки MQTT-сесії.

У кінці функції `loop()` реалізовано обробку вхідних даних із послідовного інтерфейсу. Дані надходять по символах і накопичуються у змінній `buffer`. Коли зустрічається символ нового рядка, це означає завершення повідомлення. У цей момент викликається функція `sendToMQTT()`, яка відправляє сформований рядок на брокер. Після цього буфер очищається для прийому наступного повідомлення.

У цілому, інтегрований чип ESP8266 виконує роль мережевого шлюзу між основним мікроконтролером Arduino та MQTT-брокером. Такий апаратний розподіл завдань дозволяє розвантажити основний процесор, залишаючи йому роботу із сенсорами. ESP8266 безперервно отримує сформовані дані від Arduino через внутрішній послідовний порт, здійснює їхню буферизацію та передає у відповідні MQTT-топіки, паралельно контролюючи стабільність Wi-Fi з'єднання. На рисунку 3.8 представлено детальну блок-схему алгоритму роботи Wi-Fi модуля.

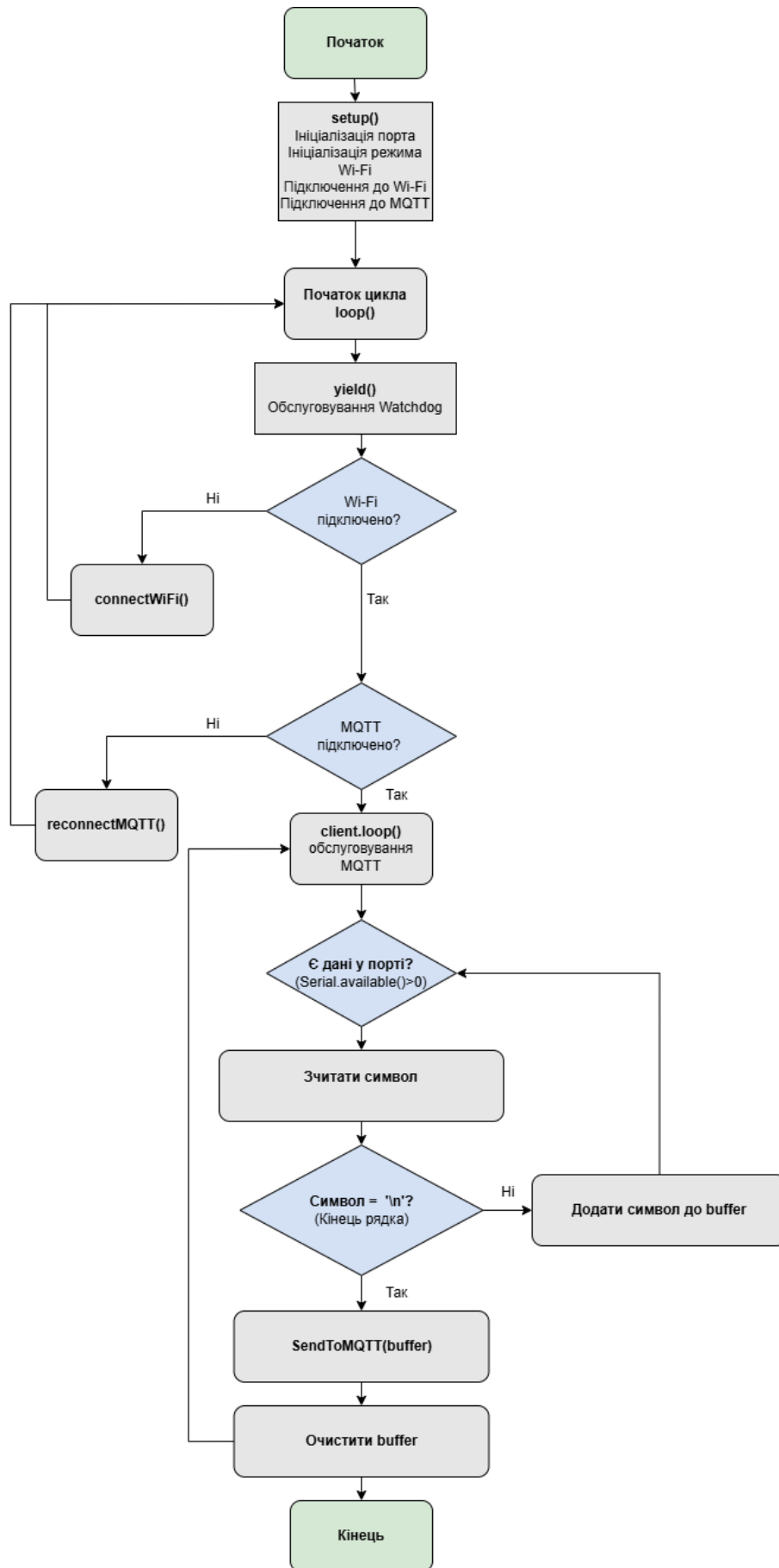


Рисунок 3.8 – Блок-схема алгоритму роботи Wi-Fi модуля на платі Arduino.

Щоб перевірити чи працює відправка даних на наш сервер, нам потрібно включити плату Arduino. Дані повинні самі почати відправлятися. Якщо мікроклімат не змінюється, то пристрій зберігає трафік, нічого не надсилає. Для того, щоб мікроклімат для датчика DHT22 змінився – вистачить лише декількох подихів на нього. Результат цієї перевірки зображений на рисунку 3.9.

```
pavel@PavelServer:~$ mosquitto_sub -u pasha -P 2004 -t server_rack/temp
23.20
23.00
23.30
23.70
24.10
21.10
21.50
21.80
22.30
23.10
23.70
24.60
24.20
23.80
23.50
23.10
22.70
pavel@PavelServer:~$ mosquitto_sub -u pasha -P 2004 -t server_rack/humidity
65.30
75.30
74.20
75.30
76.90
79.20
80.60
81.70
80.20
82.80
86.60
```

Рисунок 3.9 – Передача показників температури та вологи на сервер

Те саме стосується датчика Холла. Потрібно декілька раз відкрити та закрити дверцята серверної шафи або просто прикласти до нього магніт. Плата Arduino отримала логічний стан та передала його далі. Результат цієї перевірки

зображений на рисунку 3.10. На ньому видно, що дані про стан дверей приходять лише тоді, коли він змінюється. Це економить трафік.

```
pavel@PavelServer:~$ mosquitto_sub -u pasha -P 2004 -t server_rack/obstacle
0
1
0
1
0
█
```

Рисунок 3.10 – Передача стану дверцят на сервер

Наступним важливим етапом тестування є перевірка аналогового газоаналізатора MQ-2, який виконує функцію попередження про пожежу. Специфікою експлуатації цього сенсора є необхідність його прогріву: після подачі живлення потрібно зачекати кілька хвилин, щоб внутрішній нагрівальний елемент вивів чутливу сітку на оптимальну робочу температуру, інакше показники будуть нестабільними.

Для безпечної імітації аварійної ситуації до сенсора було піднесено ватний тампон, змочений спиртом, а також здійснено пуск газу зі звичайної запальнички. Датчик миттєво відреагував на зміну хімічного складу повітря різким зниженням свого опору. Також прозвучала коротка звукова сигналізація. Результат цієї перевірки зображений на рисунку 3.11.

```
pavel@PavelServer:~$ mosquitto_sub -u pasha -P 2004 -t server_rack/gas
216
226
231
236
243
248
244
```

Рисунок 3.11 – Передача показників з газоаналізатора на сервер

3.5 Створення бази даних InfluxDB та її підключення до NodeRed. Візуалізація Grafana

Апаратна частина системи формує лише сирі дані, які потребують подальшої маршрутизації, збереження та відображення. Для реалізації програмного рівня на базі локального сервера Raspberry Pi 4 було розгорнуто зв'язку з трьох інструментів: Node-RED, InfluxDB та Grafana. Така архітектура є стандартом для IoT-рішень.

Першим етапом є створення бази даних для зберігання показників з датчиків. Вона повинна бути оптимізована для роботи з даними часових рядів, оскільки дані від апаратного вузла надходить у вигляді безперервного потоку значень із обов'язковою прив'язкою до точного часу.

Звичайні реляційні бази даних неефективно справляються з таким типом навантаження та швидко розростаються в об'ємі. Тому до бази даних висуваються вимоги: вона повинна забезпечувати високу швидкість запису великих масивів інформації, а також гарантувати віддачу даних для візуалізації в графіках. Крім того, на рівні безпеки база повинна підтримувати механізми автентифікації. У реалізованому проєкті цю функцію виконує InfluxDB, де доступ до робочого простору здійснюється за допомогою API-токенів замість застарілої системи логінів та паролів.

Одним із архітектурних рішень під час розгортання бази даних на сервері стало перенесення сховища даних із системної SD-карти на зовнішній USB-накопичувач. Системи моніторингу характеризуються безперервним потоком показників, що надходять від датчиків. Стандартні SD-карти мають обмежений ресурс циклів перезапису і за умови інтенсивного навантаження з боку бази даних – схильні до швидкого зносу. Це може призвести до пошкодження файлової системи, повної відмови сервера та втрати історичної інформації. Використання зовнішнього USB-накопичувача вирішує проблему деградації

пам'яті, підвищує відмовостійкість апаратної частини та забезпечує надійне зберігання показників.

Оскільки обрана СКБД є нереляційною, у ній відсутня концепція традиційних таблиць. Замість них для групування даних використовуються Buckets, які поєднують у собі функції логічного контейнера та політики утримання даних. На етапі ініціалізації бази було створено робоче середовище, що включає профіль організації та кошик для прийому даних з мікроконтролерів.

Під час налаштування сховища було визначено часові межі зберігання інформації, що дозволяє системі автоматично видаляти застарілі записи та запобігати переповненню USB-накопичувача. Для забезпечення безпечної взаємодії з периферійними пристроями було створено криптографічний токен доступу, який використовується контролерами для авторизованого відправлення пакетів даних.

Зайшовши у веб інтерфейс бази даних ми можемо переглядати її вміст та робити запити мовою Flux або за допомогою зручного інтерфейсу. Результат такого запиту зображений на рисунку 3.12.

_start	_stop	_time	_value	_field	_measurement
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:19:40 GMT+3	24,70	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:20:40 GMT+3	24,40	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:24:10 GMT+3	24	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:36:50 GMT+3	24,30	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:37:40 GMT+3	24,70	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:38:50 GMT+3	25,10	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:41:10 GMT+3	25,50	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:44:30 GMT+3	25,60	value	temperature
2026-05-06 14:18:34 GMT+3	2026-05-06 15:18:34 GMT+3	2026-05-06 14:48:40 GMT+3	25,20	value	temperature

Рисунок 3.12 – Запит у веб інтерфейсі бази даних

актуальні показники автоматично перезаписуються у внутрішні глобальні змінні середовища Node-RED. Таке програмне кешування останніх значень є оптимізацією: воно дозволяє системі формувати звіти без необхідності щоразу створювати додаткове навантаження та виконувати запити до бази даних. Цей початковий сегмент обробки інформації зображений на рисунку 3.14.

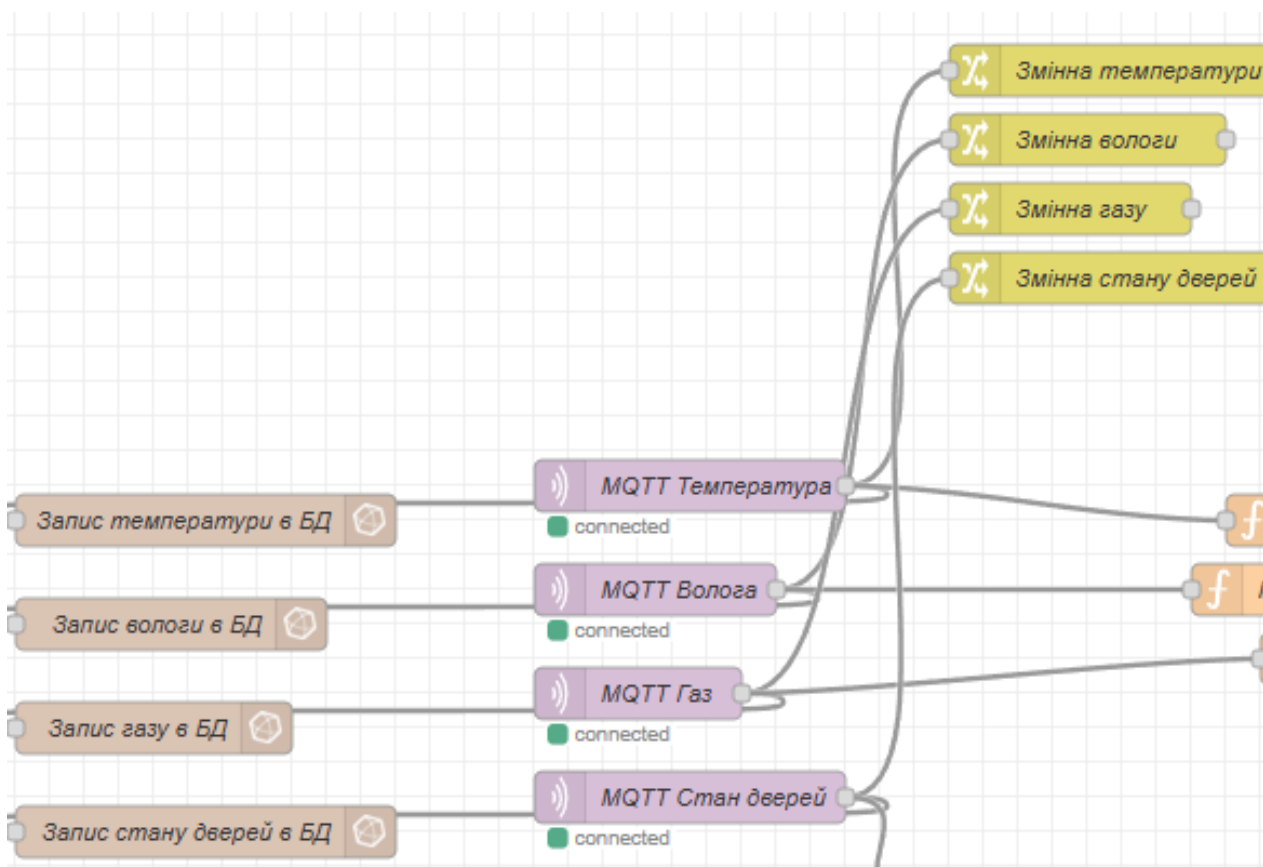


Рисунок 3.14 – Сегмент збору, збереження та кешування даних

Другий сегмент це аналітика та система сповіщень. Дані з датчиків клімату та газоаналізатора проходять через помаранчеві функціональні вузли. Там прописані умови, що якщо показник перевищує норму, формується текст тривоги. Щоб під час аварії бот не відправляв адміністратору сотню однакових повідомлень, встановлені вузли обмеження. Завдяки їм, повідомлення про небезпеку від газу відправляється не частіше одного разу на 5 хвилин, а про перегрів раз на 30 секунд. Після цього готові повідомлення йдуть у синій вузол

відправки в месенджер. Сегмент аналітики та сповіщень зображений на рисунку 3.15.

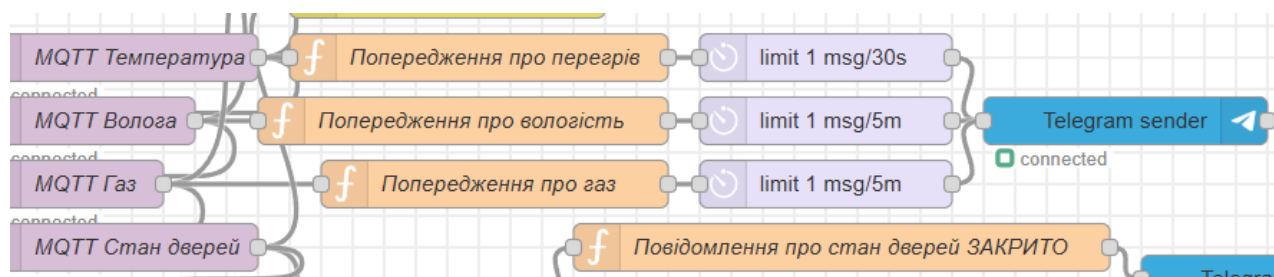


Рисунок 3.15 – Сегмент аналітики та сповіщень

Третій сегмент відповідає за контроль доступу та фільтрацію хибних спрацювань. При запуску сервера генерується повідомлення «Запуск сервера», який на 5 секунд блокує вузол ворота. Це не дає системі генерувати помилкові тривоги про стан дверей, поки мікроконтролер та датчики стабілізуються після увімкнення. У звичайному режимі сигнал від датчика Холла проходить через перемикач, який розділяє потік на два шляхи. Він формує повідомлення про відчинення або зачинення шафи і відправляє його в месенджер. Сегмент контролю доступу та фільтрації зображений на рисунку 3.16.

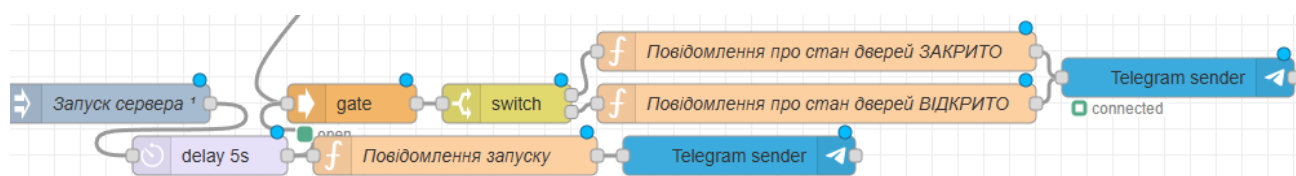


Рисунок 3.16 – Сегмент контролю доступу та фільтрації

Останній сегмент реалізує взаємодію з Telegram ботом. Нижня частина схеми відповідає за те, щоб адміністратор міг самостійно керувати системою. Сегмент чекає на команди від користувача. Якщо надходить запит, функція «Поточні дані» дістає останні значення з жовтих вузлів змінних і формує відповідь, яка відправляється назад. Також під час старту системи окрема гілка автоматично надсилає сповіщення «Сервер запущено» та підвантажує кнопкове

меню у чат з адміністратором. Сегмент взаємодії з Telegram ботом зображений на рисунку 3.17.

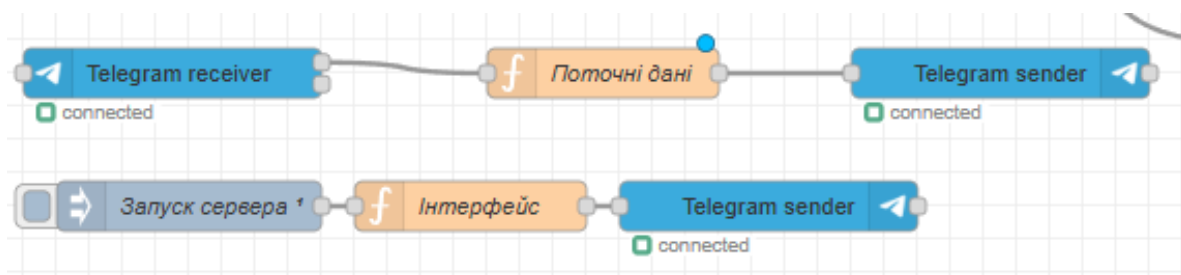


Рисунок 3.17 – Сегмент взаємодії з Telegram ботом

В рамках дипломної роботи був створений бот, який вмiє автоматично відправляти попередження про критичний стан показників. Також він дає змогу одним натиском миші дізнатись стан мікроклімату у серверній шафі. Завдяки тому, що Telegram працює на більшості пристроях, ми можемо дізнаватись про стан навіть з телефону. Це зручно і спрощує роботу з сповiщеннями. Приклад таких оповiщень про критичний стан мікроклімату, поточний стан та інтерфейс зображено на рисунку 3.18.

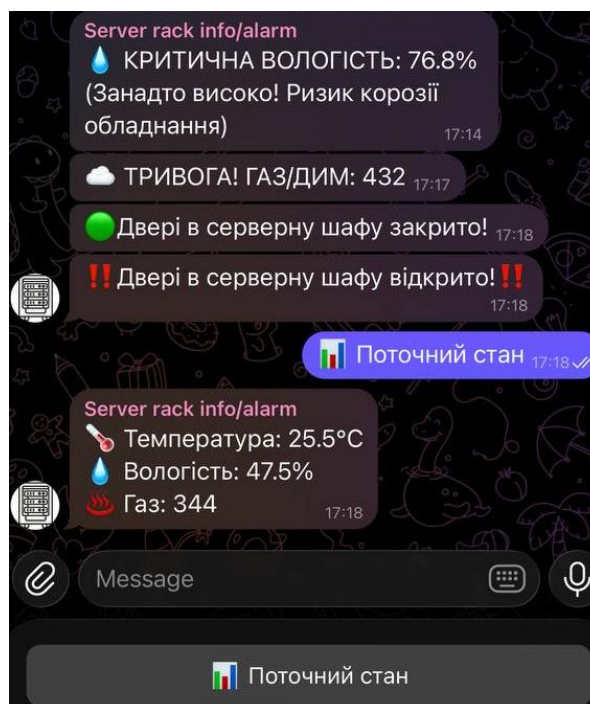


Рисунок 3.18 – Сповiщення про критичний стан та запит поточного стану

Після того, як дані з датчиків запишуться в базу даних, ми можемо їх відобразити в зручному для нас вигляді. В цьому нам допоможе інструмент Grafana. Це платформа для візуалізації даних та аналітики, яка виступає фіналом в архітектурі розробленої системи моніторингу. Її завдання полягає в тому, щоб перетворити масиви чисел, які безперервно накопичуються в базі даних InfluxDB, на зрозумілий графічний інтерфейс користувача.

Встановлення Grafana на сервер виконується через системний термінал: після додавання репозиторію програма інсталюється стандартною командою пакетного менеджера. Для забезпечення безперервної роботи службу додають до автозавантаження операційної системи. Доступ до робочого веб-інтерфейсу здійснюється через браузер за локальною айпі адресою сервера на порту 3000. При першому вході система вимагає встановити новий пароль адміністратора.

Головний етап налаштування візуалізації полягає в інтеграції бази даних для безперервного отримання метрик. У графічному веб-інтерфейсі Grafana додається нове джерело інформації з InfluxDB. Оскільки в проєкті розгорнуто другу версію цієї бази, у налаштуваннях обирається мова запитів Flux, яка дозволяє обробляти часові ряди.

Далі в параметрах підключення вказується локальна мережева адреса сервера, назва робочої Організації та ім'я цільового Бакету, де накопичуються показники з датчиків. Для забезпечення безпечної авторизації замість класичного пароля використовується згенерований раніше криптографічний API-токен.

Після успішного автоматичного тестування з'єднання платформа отримує повноцінний доступ до телеметрії і повністю готова до розробки інтерактивних графіків. Результат тестування підключення до БД зображено на рисунку 3.19.

Grafana повідомляє нам, що база даних підключена і що в ній вже є 3 «buckets». В тому самому повідомленні є посилання для створення інформаційних панелей або запитів.

Завдяки набору інструментів візуалізації, ми можемо відстежувати динаміку змін у часі: як коливається температура і вологість, чи є підозрілі стрибки у показниках газоаналізатора та коли саме спрацював датчик відчинення дверей.

Це перетворює масив даних на зрозумілу аналітику. Воно дає можливість системному адміністратору оцінювати загальний стан мікроклімату, виявляти перегрів та реагувати на будь які аномалії ще до того, як вони перетворяться на загрозу для інфраструктури. Дашборд який показує дані з датчиків вологи, температури, газу у вигляді графіків та часової шкали стану дверей зображений на рисунку 3.20.



Рисунок 3.20 – Дашборд всіх показників

3.6 Оцінка вартості проекту

Для оцінки вартості проекту було розраховано вартість його апаратної частини, оскільки все використане програмне забезпечення є безкоштовним. Самим дорогим елементом системи є Raspberry Pi 4, який виконує роль локального сервера і коштує 4000 грн. Проте ці витрати можна повністю

виключити, якщо розгортати програмний стек на вже існуючому виділеному сервері. Основою ж клієнтського вузла збору даних виступає гібридна плата Arduino Uno WiFi R3 вартістю 400 грн.

Сенсорна база включає цифровий датчик температури та вологості DHT22 (120 грн), аналоговий газоаналізатор MQ-2 (100 грн) для виявлення диму, а також магнітний датчик Холла на базі компаратора LM393 (80 грн) для фіксації відчинення дверей.

Для забезпечення стабільного зв'язку з металеві серверної шафи передбачено зовнішню Wi-Fi антену вартістю 100 грн. Локальне звукове оповіщення реалізовано за допомогою пасивного баззера за 15 грн зі резистором на 220 Ом (3 грн). З'єднання всіх елементів забезпечується макетною платою ціною 50 грн та набором проводів (30 грн).

Загальна вартість усіх компонентів базової конфігурації разом із локальним сервером становить 4898 грн. Якщо ж інтегрувати систему в готову інфраструктуру без закупівлі мікрокомп'ютера, вартість апаратного вузла складе лише 898 грн. Враховуючи високу ціну серверного обладнання, що захищається, впровадження такого рішення є рентабельним та економічно виправданим.

3.7 Висновки до 3 розділу

Створено рішення на базі гібридної плати Arduino Uno WiFi R3. Розроблено програмне забезпечення, яке забезпечує безперервне зчитування показників із сенсорів, фільтрацію хибних даних, локальне звукове оповіщення та стабільну бездротову передачу даних через вбудований Wi-Fi модуль.

Успішно розгорнуто автономну серверну інфраструктуру на базі мікрокомп'ютера Raspberry Pi 4. Налаштовано MQTT-брокер Mosquitto який відповідає за прийом пакетів даних. Середовище Node-RED реалізує логіку маршрутизації та автоматичної взаємодії з адміністратором через Telegram бот. Для надійного збереження історії вимірювань використано часову базу даних

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

InfluxDB, а для моніторингу в режимі реального часу розроблено дашборди на платформі Grafana.

Економічна оцінка проєкту підтвердила його рентабельність. Загальна вартість розробленого апаратного комплексу склала 4898 грн з яких 4000 грн це вартість локального сервера, яку можна мінімізувати при використанні існуючої інфраструктури. Враховуючи безкоштовність використаного програмного забезпечення та високу вартість серверного обладнання, це є фінансово обґрунтованим та ефективним рішенням для запобігання аварійним ситуаціям.

Під час практичного тестування розроблена система продемонструвала високу стабільність роботи та стійкість до можливих мережевих збоїв. Реалізація автоматичного перепідключення до Wi-Fi та MQTT-брокера довели свою ефективність, гарантуючи безперервність передачі даних. Побудована архітектура має потенціал для подальшого масштабування.

Завдяки використанню Node-RED, до існуючої мережі можна додавати нові клієнтські вузли без зміни серверних конфігурацій. Це дозволяє в майбутньому розширити моніторинг на декілька серверних шаф одночасно, роблячи систему перспективним інструментом для адміністрування.

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У роботі за результатами виконаних теоретичних та практичних досліджень було спроектовано та реалізовано програмно-апаратну систему для безперервного моніторингу мікроклімату серверної шафи. Розроблене рішення забезпечує контроль показників, локальне оповіщення та віддалене управління, мінімізуючи ризики виходу з ладу дороговартісного обладнання внаслідок перегріву або пожежі.

У першому розділі проведено аналіз предметної області та існуючих комерційних рішень для контролю умов експлуатації серверів. Визначено, що готові промислові системи часто є занадто дорогими та функціонально надлишковими для невеликих локальних серверних вузлів. Обґрунтовано доцільність створення власного бюджетного рішення на базі мікроконтролерних IoT-платформ із використанням протоколу передачі даних MQTT.

У другому розділі проведено проектування апаратної архітектури системи та вибір датчиків. Визначено нормативні межі кліматичних параметрів і підбрано відповідні сенсори: цифровий датчик DHT22 для температури та вологості, газоаналізатор MQ-2 для виявлення диму, а також магнітний датчик Холла для фіксації відчинення дверей. Розроблено структурну та електричну схеми клієнтського вузла на базі плати Arduino Uno WiFi R3 і визначено роль Raspberry Pi 4 як локального сервера.

У третьому розділі здійснено програмно-апаратну реалізацію та тестування проєкту. Написано код для мікроконтролера який збирає та передає дані з датчиків. Налаштовано серверну інфраструктуру: брокер Mosquitto, середовище Node-RED для автоматизації логіки й сповіщень через Telegram-бот, часову базу даних InfluxDB та інтерактивні панелі моніторингу в Grafana. Економічний розрахунок підтвердив високу рентабельність розробки. Орієнтовна вартість апаратного комплексу склала 4898 грн, що робить його доступним та ефективним рішенням.

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Біметалеві термостати. URL: https://images.prom.ua/4367311453_w640_h640_ksd301-105s-10a.jpg (дата звернення: 14.05.2026).
2. Газоаналізатор MQ-2. URL: https://images.prom.ua/6552345960_w640_h640_datchik-gaza-mq-5.jpg (дата звернення: 14.05.2026).
3. Датчик температури та відносної вологості DHT22. URL: https://images.prom.ua/6668182199_w640_h640_6668182199.jpg (дата звернення: 14.05.2026).
4. Датчик холла LM393 3144. URL: <https://s.alicdn.com/@sc04/kf/Hbcc3638f4348498ebb15e4f13f680e80p.jpg?avif=close&webp=close> (дата звернення: 14.05.2026).
5. Електронна система контролю мікроклімату. URL: <https://gastech.com.ua/wp-content/uploads/2024/10/extech-co100.jpg> (дата звернення: 14.05.2026).
6. Мікроконтролерна плата. TechMaker Blog. URL: <https://blog.techmaker.ua/posts/mcu-architectures/cover.webp> (дата звернення: 14.05.2026).
7. Медоїд М. Датчики температури і вологості: види, принцип роботи та застосування. Трибун. URL: <https://tribun.com.ua/uk/118071-datchiki-temperaturi-i-vologosti-vidi-printsip-roboti-ta-zastosuvannja> (дата звернення: 12.05.2026).
8. Мікрокомп'ютер raspberry пі 4 model B. Brain. URL: https://brain.com.ua/static/images/prod_img/2/0/U0502420_2_1739695719.jpg (дата звернення: 14.05.2026).
9. Наглядний приклад реалізації вимірювання мікроклімату за допомогою Arduino UNO R3. URL: <https://www.electronics-lab.com/wp-content/uploads/2016/12/Arduino-DHT11-Humidity-and-Temperature-Sensor-With-LCD-Output-768x384.png> (дата звернення: 14.05.2026).

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Плата розробника Arduino Uno WiFi R3. URL: https://www.usinainfo.com.br/1030023-large_default/placa-uno-wifi-atmega328p-compativel-arduino-com-esp8266-e-ch340.jpg (дата звернення: 14.05.2026).

11. Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі Enviromux-5d-e. URL: https://www.nti1.ae/media/catalog/product/cache/5/image/700x/040ec09b1e35df139433887a97daa66f/e/n/enviromux-5d_12.jpg (дата звернення: 14.05.2026).

12. Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі E-SEMS-16U. URL: <https://cdn-images.av-iq.com/products/enlarge/e-16d.jpg> (дата звернення: 14.05.2026).

13. Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі Raritan Smart Rack Controller. Valen. URL: <https://www.valen.com.tr/wp-content/uploads/2024/10/feature-src-iX7-intelligent-controller-1.jpg> (дата звернення: 14.05.2026).

14. Пристрій для моніторингу мікроклімату в серверній шафі smartRMU-ACEM. URL: <https://smartisystems.com/wp-content/uploads/2024/06/AzfrMDK0jpbooMkL8keiBCjjJnUin1Bm6pvaBRDR-smarti-683x1024.png> (дата звернення: 14.05.2026).

15. Обробка та візуалізація даних у реальному часі: node-red практичний огляд. ProgIngContrSystems. URL: https://pupenasan.github.io/ProgIngContrSystems/Лекц/2_nodered.html (дата звернення: 12.05.2026).

16. Павло Кірнос. Як працює IoT зсередини: сенсори, протоколи, обробка даних. robot_dreams - онлайн-курси для фахівців у сфері big data, machine learning, data science | Робот Дрімс. URL: <https://robotdreams.cc/uk/blog/772-yak-pracyuye-iot-zseredyny-sensory-protokoly-obrobka-danyh> (дата звернення: 12.05.2026).

17. Простими словами, що таке мікроконтролер Arduino. URL: <https://bitkit.com.ua/shho-take-arduino> (дата звернення: 12.05.2026).

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Протокол MQTT для іот-систем: архітектура та застосування. ProgIngContrSystems. URL: https://pupenasan.github.io/ProgIngContrSystems/Лекц/5_mqtt.html (дата звернення: 12.05.2026).

19. Система моніторингу клімату серверної. Simvolt – вимірювальні прилади. URL: <https://simvolt.ua/sistema-monitoringu-klimatu-servernoi/> (дата звернення: 12.05.2026).

20. Система моніторингу мікроклімату серверної шафи ENVIROMUX-MICRO-T. URL: <https://i.ebayimg.com/images/g/bokAAeSw0JdpGm~q/s-11600.webp> (дата звернення: 14.05.2026).

21. Спиртовий термометр з вбудованим механічним гігрометром. URL: <https://omega-art.com.ua/wa-data/public/shop/products/82/87/48782/images/62775/62775.700.jpg> (дата звернення: 14.05.2026).

22. Що таке мікрокомп'ютери? Розповідаємо на прикладі Raspberry Pi. Мережеве обладнання. URL: <https://e-server.com.ua/uk/poradi/shho-take-mikrokompiuteri-rozpovidajemo-na-prikladi-raspberry-pi> (дата звернення: 12.05.2026).

23. Aminifar A. Analysis, design, and optimization of embedded control systems : doctoral thesis. 2016. URL: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:liu:diva-124319> (дата звернення: 18.05.2026).

24. Giacobbe M. An implementation of influxdb for monitoring and analytics in distributed iot environments. *Smart innovation, systems and technologies*. Cham, 2019. P. 155–162.

25. Ahmad K., Ansari M. Hands-On InfluxDB. NoSQL: database for storage and retrieval of data in cloud. Boca Raton, FL : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2017. P. 341–354.

26. Batra N., Goyal S. Introduction to arduino. *IoT fundamentals with a practical approach*. Boca Raton, 2024. P. 216–250.

27. Boutekkouk F. Real-Time embedded systems scheduling optimization. *International journal of applied evolutionary computation*. 2021. Vol. 12, no. 1. P. 43–73.
28. Bräunl T. Raspberry pi. *Embedded robotics*. Singapore, 2022. P. 67–83.
29. Cameron N. Mqtt. *ESP32 formats and communication*. Berkeley, CA, 2023. P. 351–384.
30. Embedded system & design / D. B. Waghmare et al. *International journal of computer applications*. 2010. Vol. 1, no. 25. P. 88–95.
31. Georgiadis G., Szentes B. Optimal monitoring design. *Econometrica*. 2020. Vol. 88, no. 5. P. 2075–2107
32. Gloria A. D. Microprocessor design for embedded system. *Journal of systems architecture*. 1999. Vol. 45, no. 12-13. P. 1139–1149.
33. How MQTT works -beginners guide. URL: <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-works/> (дата звернення: 12.05.2026).
34. Internet of things (iot) platform for multi-topic messaging / M. Hussein et al. *Energies*. 2020. Vol. 13, no. 13. P. 3346.
35. Khanna V. K. IoT protocols and platforms. *IoT sensors*. Boca Raton, 2024. P. 10–27.
36. Tyrtshnyi D., Leonov S. Performance Optimisation of real-time data ingestion: Enhancing the InfluxDB backend listener for Jmeter. *Bulletin of the national technical university "khpi" A series of "information and modeling"*. 2026. Vol. 1, no. 1(15). P. 43–67.
37. Noprianto N., Wijayaningrum V. N., Wakhidah R. Monitoring development board based on influxdb and grafana. *Telematika*. 2023. Vol. 20, no. 1. P. 81.
38. Parimala N., Reddy S. R. N. Processor selection for embedded system design. *International journal of computers and applications*. 2008. Vol. 30, no. 4. P. 348–353.

39. Venu S. About raspberry pi. *Asp.Net core and azure with raspberry pi 4*. Berkeley, CA, 2020. P. 1–18. URL: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-6443-0_1 (дата звернення: 18.05.2026).

40. ZigBee vs Z-Wave vs Wi-Fi: вибираємо протокол для розумного дому. Офіційний сайт LIVOLO. URL: <https://livolo.in.ua/zigbee-vs-zwave-vs-wifi-vybraiemo-protokol-dlia-rozumnoho-domu/> (дата звернення: 12.05.2026).

					КвРКІ 2302141.23.02.35 ПЗ	Арк. 66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

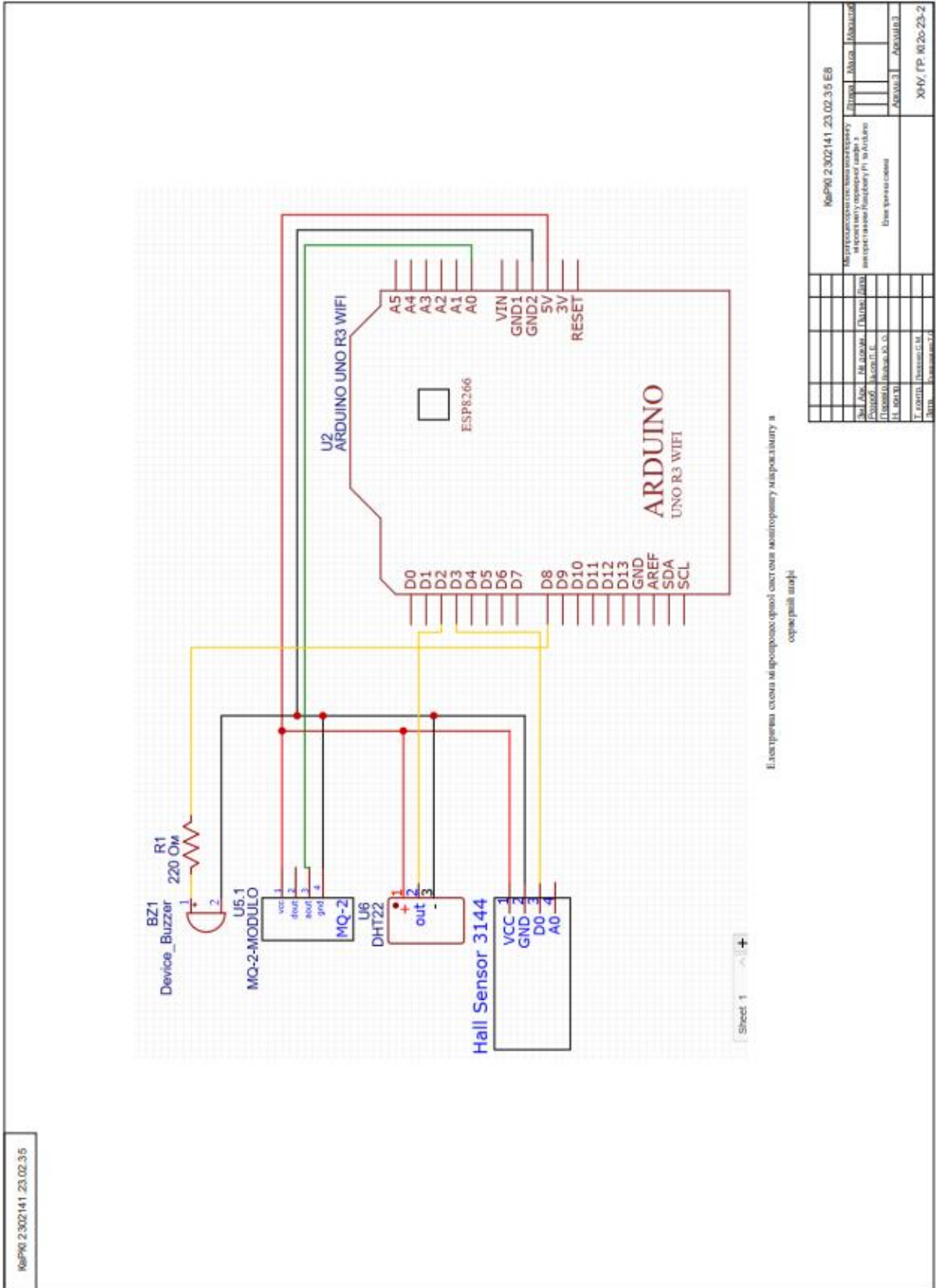
Копія креслення «Результати вимірювань мікроклімату»



ДОДАТОК В

(обов'язковий)

Копія креслення «Електрична схема»



Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Павло ЦЬОПА

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений. Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

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

1 травня 2026 року



Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 13.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 12%

ID: 272408 Назва: БКР Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino Додано в БД: 2026-05-27 Автора: Павло ЦЬОПА Керівники: Юрій ВОЙЧУР Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	77927	698	11563 (15%)	89 (13%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми
269484	Назва: Звіт з ПДП Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino Додано в БД: 2026-02-24 Автора: П. Е. Цьопи Керівники: Лисенко С.М. Консультанти: Опоненти:	10344 (13.0%)	81 (12.0%)

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

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

Назва кваліфікаційної роботи Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino

Автор Павло ЦЬОПА

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: ДФ. Юрій ВОЙЧУР

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

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

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 2,92% і адресується до 14 першоджерел; та системою Anti-Plagiarism складає 13%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

27.05.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


 Підпис
 Підпис
 Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій Нічепорук
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Юрій Войчур
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Цьопа Павло Едуардович

Тема: Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 62

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є створення системи моніторингу мікроклімату для збору, обробки, збереження та візуалізації телеметричних даних у реальному часі.

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області. Проаналізовано принципи побудови систем контролю мікроклімату серверних приміщень, концепцію багаторівневої архітектури Інтернету речей, здійснено огляд та порівняння існуючих на ринку комерційних апаратно-програмних рішень. Виконано постановку задачі щодо розробки мікропроцесорної системи моніторингу.

В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено апаратне та алгоритмічне проектування системи моніторингу. Обґрунтовано вибір компонентної бази розроблено загальну структурну схему кіберфізичної системи; спроектовано блок-схеми алгоритмів роботи основного мікроконтролера та мережевого Wi-Fi модуля; визначено протоколи взаємодії між вузлами.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано програмно-апаратну реалізацію та тестування системи моніторингу. Зібрано прототип клієнтського

вузла; розроблено програмне забезпечення мовою C++ у середовищі Arduino IDE; розгорнуто та конфігуровано серверну інфраструктуру на базі Raspberry Pi 4. Налаштовано MQTT-брокер, базу даних InfluxDB, логіку Node-RED та візуалізацію в Grafana. Проведено практичне тестування реакції сенсорів на імітацію аварійних ситуацій; виконано розрахунок економічної ефективності проєкту.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага аналізу предметної області

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:

Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре (В / 85)

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

Богдан Рудан Олександрович, доц. кафедри КН

“ 29 ” 05 2026 р.

 (підпис)

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: Павло ЦЬОПА

Співавтор:

Назва: Мікропроцесорна система моніторингу мікроклімату серверної шафи з використанням Raspberry Pi та Arduino

Експерт: Юрій ВОЙЧУР

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 2.92%

Коефіцієнт подібності 2: 0.41%

Мікропробіли: 3

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-26 23:26:26.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

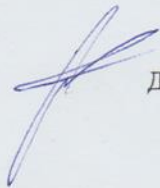
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

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

Обґрунтування:

2026-05-27

Пата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт