

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату
дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App
Назва теми

КвРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»
Назва

Виконав: студент IV курсу, група KI2-21-3


Підпис

Данило БОРОДИШИН
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

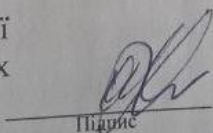
Валерій МАРТИНЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Тетяна КИСІЛЬ
Ініціали, прізвище

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


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«11» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
Освітній рівень БАКАЛАВР
Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ
Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА
" 10 " 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Данилу БОРОДИШИНУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

Керівник проекту (роботи) Валерій МАРТИНЮК, д.т.н., професор

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. №23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

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

Аналіз предметної області та постановка завдання

Проектування програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру esp32 та google web app

Реалізація прототипу програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру esp32 та google web app

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

Схема електрична

Структурна схема

Схема результатів симуляції

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

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

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – Аналіз предметної області та постановка завдання	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – Проектування програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – Реалізація прототипу програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру	30.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	20.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Керівник роботи

Підпис

Підпис

Данило БОРОДИЩИН
Ініціали, прізвище

Валерій МАРТИНЮК
Ініціали, прізвище

№	ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Пояснювальна записка	61		
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ. 210357.21.03.21 Е4	Схема електрична	1		
3		КвРКІ. 210357.21.03.21 Е8	Структурна схема	1		
4		КвРКІ. 210357.21.03.21 Е8	Схема результатів симуляції	1		

					КвРКІ. 210357.17.03.05 ПЗ			
Зм	Арж	№ докум	Підпис	Дата	Відомість проєкту	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Боролонши Д.				У	1	1
Перевір.		Мартинюк В.В.				ХНУ, КІ2-21-3		
Н. контр.		Кисіль Т.М.		21.06.15				
Затв.		Павлова О.О.		11.06.15				

ОДИШИН
впис

РТИНЮК
впис

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролера ESP32 та Google Web App».

Автор роботи: *Данило БОРОДИШИН.*

Керівник роботи: *Мартинюк Валерій Володимирович.*

Пояснювальна записка: *61 с., 30 рис., 3 табл., 3 дод., 60 джерел.*

Графічна частина: 3 креслення.

МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ, МІКРОКОНТРОЛЕР ESP32

Мета кваліфікаційної роботи: є проектування програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролера ESP32 та Google Web App




У сучасному інформаційному суспільстві роль дата-центрів є надзвичайно важливою, оскільки вони забезпечують безперервне функціонування інформаційних систем, зберігання, обробку й передачу даних. Надійність роботи серверного обладнання наряду залежить від стабільності умов його експлуатації, зокрема параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, повітряна циркуляція тощо. Навіть незначні коливання в цих параметрах можуть призвести до збоїв у роботі техніки, втрати даних або передчасного виходу обладнання з ладу, що, своєю чергою, може спричинити фінансові втрати, порушення сервісів та репутаційні ризики для компаній. Таким чином, постійний контроль мікрокліматичних умов є критично важливим для забезпечення стабільної та безпечної роботи дата-центрів.


Підпис студента

20.05.2025
Дата

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	4
ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	7
1.1 Актуальність теми віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату для дата центру	7
1.2 Аналіз існуючих рішень системи моніторингу параметрів мікроклімату у дата центрі.....	10
1.3 Огляд комерційних пристроїв та систем моніторингу параметрів мікроклімату у дата центрі	12
1.4 Google Web App як платформа для обробки та візуалізації даних у системах IoT	17
1.5 Висновки. Постановка задачі	21
2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСОБУ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ДАТА ЦЕНТРУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ESP32 ТА GOOGLE WEB APP	23
2.1 Аналіз параметрів мікроклімату дата центру та їх вплив на надійність серверного обладнання	23
2.2 Структура та функціональні вимоги програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App	26
2.3 Аналіз та вибір апаратних складових.....	31
2.4 Електрична схема програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату.....	39
2.5 Висновки.....	41

				КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Бородишин Д.Л.				2	61
Перевір.		Мартинюк В.В.			ХНУ, КІ2-21-3		
Н.контр.		Кисель Т.М.					

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОТОТИПУ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСОБУ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ДАТА ЦЕНТРУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ESP32 ТА GOOGLE WEB APP

.....	42
3.1 Створення прототипу та тестування у Wokwi	42
3.2 Створення сервера для опрацювання та запису показників якості повітря дата центру.....	48
3.3 Процес розгортання сервера	51
3.4 Створення програмного коду для мікроконтролера ESP32.....	54
3.5 Оцінка вартості реалізації проєкту.....	57
3.6 Висновки	59
ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТОК А Копія креслення «Структурна схема»	68
ДОДАТОК Б Копія креслення «Електрична схема»	69
ДОДАТОК В Копія креслення «Схема результатів симуляції».....	70

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ADC – Analog-to-Digital Converter

AQI – Air Quality Index

ESP – Espressif Systems Platform

DHT – Digital Humidity and Temperature

GWA – Google Web App

MCU – Microcontroller Unit

HTTP – HyperText Transfer Protocol

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасному інформаційному суспільстві роль дата-центрів є надзвичайно важливою, оскільки вони забезпечують безперервне функціонування інформаційних систем, зберігання, обробку й передачу даних. Надійність роботи серверного обладнання напряду залежить від стабільності умов його експлуатації, зокрема параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість, повітряна циркуляція тощо. Навіть незначні коливання в цих параметрах можуть призвести до збоїв у роботі техніки, втрати даних або передчасного виходу обладнання з ладу, що, своєю чергою, може спричинити фінансові втрати, порушення сервісів та репутаційні ризики для компаній.

Підвищення температури в серверних кімнатах є однією з найпоширеніших і найнебезпечніших проблем. Надмірне нагрівання електронних компонентів може призвести до зменшення строку їх експлуатації, погіршення продуктивності або повного виходу з ладу. Аналогічно, надмірна вологість може викликати утворення конденсату на елементах плат, що спричинює короткі замикання, а надто сухе повітря – накопичення статичної електрики, яка також є небезпечною для електроніки. Таким чином, постійний контроль мікрокліматичних умов є критично важливим для забезпечення стабільної та безпечної роботи дата-центрів.

Традиційні системи моніторингу кліматичних умов часто є дорогими, складними у впровадженні та обслуговуванні. Крім того, вони не завжди передбачають можливість оперативного віддаленого доступу до даних у режимі реального часу. У цьому контексті зростає потреба у розробці доступних, гнучких та масштабованих рішень, які дозволяють здійснювати віддалений моніторинг параметрів мікроклімату, зберігаючи при цьому високу надійність та ефективність роботи. Саме тому використання недорогих мікроконтролерів, таких як ESP32, стає все більш популярним у проєктах автоматизації та моніторингу. Цей мікроконтролер має вбудований Wi-Fi-модуль, що дозволяє передавати дані в мережу без потреби у додатковому обладнанні, а також володіє достатньою обчислювальною потужністю для попередньої обробки інформації з датчиків.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						5
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Інтеграція таких пристроїв із хмарними сервісами, зокрема Google Web App або Google Sheets, дозволяє реалізувати повноцінну систему збору, зберігання, візуалізації та аналізу даних з будь-якої точки світу. Це дає змогу оперативно реагувати на критичні зміни мікроклімату, впроваджувати адаптивні механізми керування системами охолодження чи вентиляції, а також накопичувати історичні дані для подальшого аналізу і вдосконалення політик обслуговування обладнання.

Таким чином, розробка програмно-апаратного засобу для віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату в дата-центрах є актуальним завданням, що спрямоване на підвищення надійності функціонування критичної інфраструктури. Поєднання доступних мікроконтролерів із потужними інструментами хмарної обробки відкриває нові можливості для побудови інтелектуальних, масштабованих і економічно ефективних систем моніторингу, які можуть бути адаптовані для різних типів об'єктів – від малих серверних приміщень до великих корпоративних дата-центрів.

Метою роботи є проєктування програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App.

Об'єктом дослідження є процеси моніторингу та збереження параметрів мікроклімату у дата центрі.

Предметом дослідження є програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						6
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Актуальність теми віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату для дата центру

На сьогоднішній день дата-центри стали критично важливими елементами глобальної цифрової інфраструктури. Вони забезпечують зберігання, обробку та розповсюдження колосальних обсягів інформації, що циркулює через хмарні сервіси, фінансові системи, урядові портали, системи відеоспостереження, штучний інтелект, IoT-пристрої та багато інших сфер. В умовах цифрової трансформації суспільства та економіки зростає не лише обсяг обчислень, а й вимоги до безперервності, надійності та ефективності роботи обчислювальних центрів.

Сучасні дата-центри повинні функціонувати 24/7 без збоїв, незалежно від зовнішніх умов. Це особливо важливо для таких галузей, як банківська справа, охорона здоров'я, телекомунікації, електронна комерція чи державне управління, де навіть короточасний простій може призвести до суттєвих фінансових втрат або критичних збоїв у наданні послуг. У зв'язку з цим виникає потреба в постійному контролі параметрів, які безпосередньо впливають на стабільність і безпеку роботи обладнання всередині дата-центрів. Одним із ключових аспектів є моніторинг мікроклімату (рис. 1.1).

Комплексна система моніторингу у дата центрі зазвичай охоплює низку важливих показників, серед яких температура в приміщенні, температура та вологість на рівні стійок, контроль повітряного потоку, виявлення витоків, моніторинг розподілу електроживлення, виявлення диму та контроль диференціального тиску повітря. Кожен із цих параметрів має критичне значення для оптимального функціонування серверного обладнання.

Забезпечення стабільної температури в приміщенні та на рівні стійок є необхідною умовою для уникнення перегріву серверів, що може спричинити їхню зупинку або навіть фізичне пошкодження компонентів. Застосування датчиків

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						7
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

температури у стратегічних точках дозволяє не лише визначити середню температуру в приміщенні, але й виявити локальні зони перегріву, які часто залишаються непоміченими без детального моніторингу.

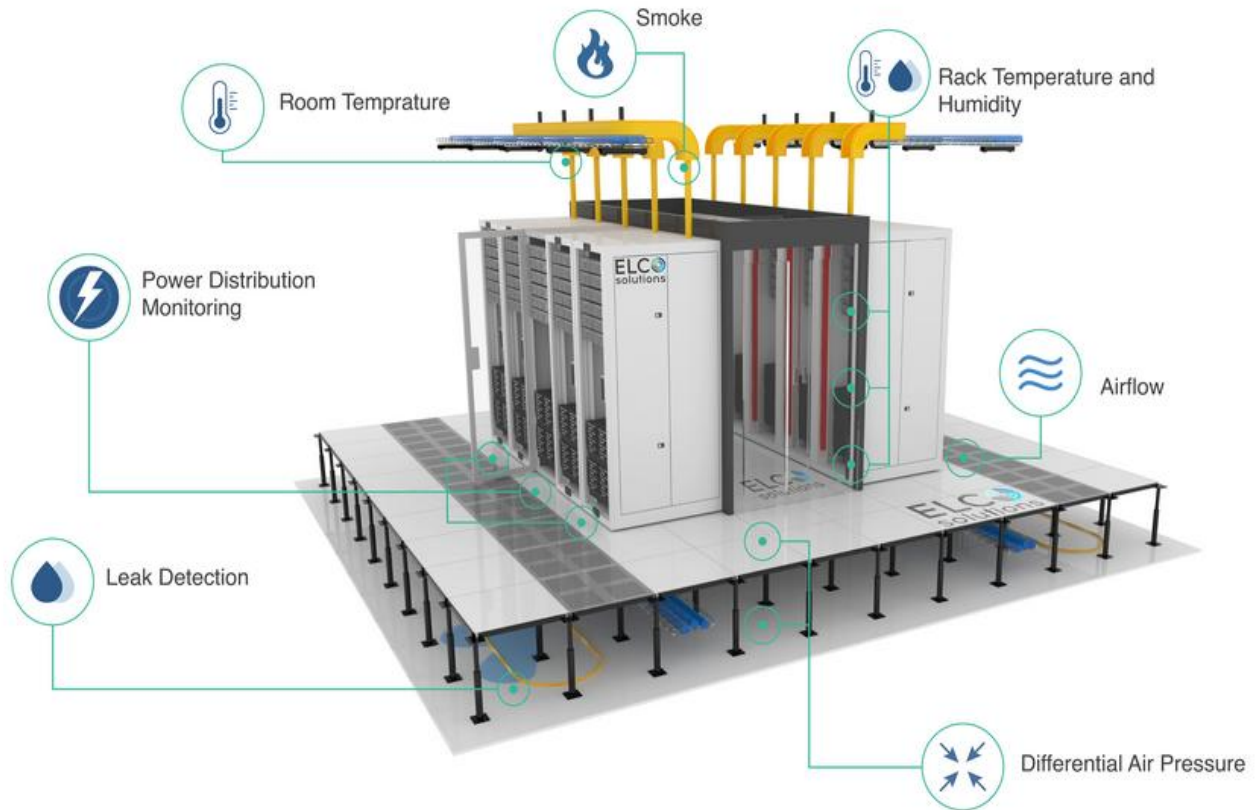


Рисунок 1.1 – Параметри, моніторинг яких здійснюється у дата центрі

Вологість повітря також є надзвичайно важливим параметром. Надмірна вологість може спричинити корозію або коротке замикання, особливо у випадках конденсації, тоді як занадто сухе повітря підвищує ризик накопичення статичної електрики, яка здатна вивести з ладу чутливі електронні компоненти. Відповідні сенсори дозволяють виявляти критичні відхилення та оперативно запускати механізми регулювання мікроклімату.

Контроль повітряного потоку (airflow) має ключове значення для рівномірного розподілу охолодження. Недостатній або нерівномірний потік повітря може призводити до утворення "гарячих точок", що створює додаткове теплове навантаження на обладнання. Моніторинг повітряного потоку дозволяє

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

адаптивно керувати вентиляційною системою, забезпечуючи ефективне охолодження без перевитрат енергії.

Також вадливим аспектом є виявлення витоків рідини під фальшпідлого – типова практика в дата-центрах, де прокладено кабелі живлення та системи охолодження. Потрапляння рідини в цю зону може бути критичним і навіть катастрофічним для електричних систем, тому своєчасне виявлення витоків є обов’язковою умовою для гарантування безпеки.

Ще одним важливим елементом є моніторинг електроживлення, який дозволяє відстежувати стан розподілу енергії між стійками та споживання ресурсів. Це дає змогу уникнути перенавантаження, виявляти відхилення та оптимізувати використання енергетичних потужностей. У контексті віддаленого моніторингу це дозволяє адміністраторам негайно реагувати на аномалії, не перебуваючи фізично на місці.

Контроль диму є частиною системи раннього виявлення пожежі, що дає змогу запобігти катастрофічним наслідкам у випадку короткого замикання чи перегріву обладнання. Завдяки використанню чутливих сенсорів система може ініціювати сигнал тривоги ще до того, як почнеться відкрите загоряння.

Диференціальний тиск повітря, який контролюється в межах серверного приміщення та під фальшпідлогою, допомагає підтримувати контрольовану циркуляцію повітря. Це дозволяє уникати несанкціонованого потрапляння пилу, гарячого повітря чи забруднень ззовні, а також підтримувати потрібний тиск для правильної роботи систем охолодження.

Усі ці параметри, у сукупності формують систему, яка є основою для безперебійного функціонування дата-центру. Роль віддаленого моніторингу в цьому контексті є неоціненною, адже дає змогу централізовано, з єдиного інтерфейсу, спостерігати за поточним станом усіх ключових параметрів. Це дозволяє вчасно виявляти потенційні загрози та запобігати аваріям, що могло б спричинити значні збитки або втрату важливих даних.

Розробка таких систем із використанням доступних мікроконтролерів, як-от ESP32, а також хмарних технологій, таких як Google Web App або Google Sheets,

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						9
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

відкриває можливість створення ефективних, адаптивних та бюджетних рішень. Такі системи легко масштабуються, можуть обслуговувати як малі офісні серверні, так і великі дата-центри, та не потребують значних витрат на обладнання. У результаті, реалізація програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу мікроклімату на основі ESP32 дозволяє суттєво підвищити загальний рівень надійності, безпеки та енергоефективності сучасних центрів обробки даних.

1.2 Аналіз існуючих рішень системи моніторингу параметрів мікроклімату у дата центрі

Аналіз існуючих рішень системи моніторингу параметрів мікроклімату у дата-центрі демонструє широкий спектр як комерційних, так і саморобних (DIY) систем, кожна з яких має свої переваги та обмеження. Комерційні рішення, що пропонуються провідними постачальниками обладнання для центрів обробки даних, зазвичай включають комплексні програмно-апаратні комплекси з великою кількістю датчиків, централізованою системою керування, журналюванням та функціями аналітики. Такі рішення здебільшого характеризуються високою надійністю, технічною підтримкою та готовністю до масштабування. Однак вони часто мають надмірно високу вартість як на етапі впровадження, так і в процесі технічного обслуговування, що робить їх недоступними для малих і середніх організацій.

На противагу цьому DIY-рішення набули популярності завдяки гнучкості, низькій вартості та простоті адаптації до конкретних потреб користувача. У таких проектах зазвичай застосовують відкриті апаратні платформи, зокрема Arduino, Raspberry Pi або ESP32. Arduino, як мікроконтролерна платформа, підходить для реалізації простих систем моніторингу, де потрібен контроль температури, вологості або диму з мінімальним енергоспоживанням. Водночас вона обмежена у своїх можливостях обробки даних, не має вбудованої підтримки Wi-Fi (у базових

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						10
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

моделях) і більше підходить для локального застосування без активного підключення до хмарних сервісів.

Raspberry Pi, як повноцінний одноплатний комп'ютер, забезпечує розширені можливості обробки інформації, зберігання даних і роботи з мережею (рис. 1.2). Завдяки підтримці операційної системи Linux і широкому вибору мов програмування, Raspberry Pi часто застосовується у проектах, де потрібна обробка великого обсягу даних, взаємодія з базами даних або хостинг веб-інтерфейсів. Проте цей варіант є дорогим і енергозатратнішим, що не завжди виправдано в умовах енергообмежених середовищ.

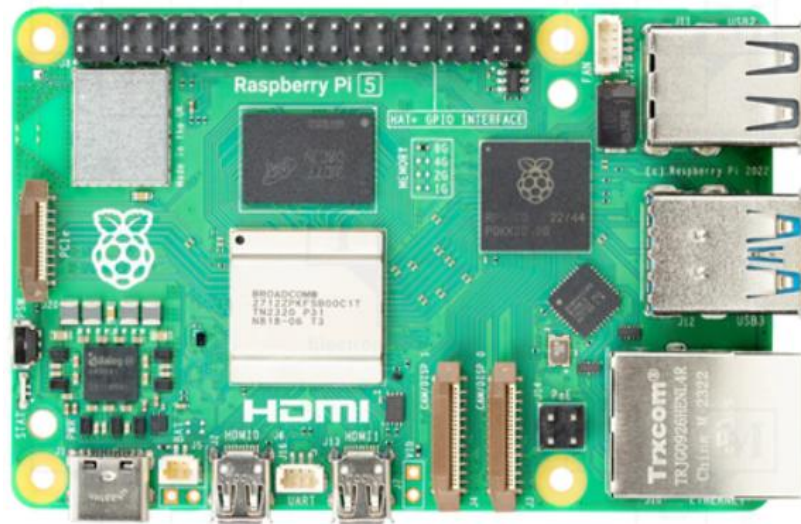


Рисунок 1.2 – Одноплатний мікрокомп'ютер Raspberry Pi

Найбільш збалансованим рішенням сьогодні вважається платформа ESP32, яка поєднує малі габарити, низьке енергоспоживання, високу обчислювальну потужність і вбудовану підтримку Wi-Fi та Bluetooth. ESP32 дозволяє легко підключати різноманітні сенсори, здійснювати локальну обробку даних і виводити інформацію в хмару або інші пристрої. Це відкриває широкі можливості для побудови ефективних і бюджетних систем моніторингу мікроклімату в реальному часі.

Особливу роль у подібних рішеннях відіграє використання хмарних платформ, таких як Google Web App, Google Sheets та Firebase. Інтеграція з Google

Sheets забезпечує просте та зрозуміле представлення даних у табличному форматі, що зручно для моніторингу історії та візуалізації показників. Використання Google Web App дає змогу налаштувати інтерфейс для передачі та отримання даних з мікроконтролерів, а Firebase виступає як потужне хмарне сховище з можливістю зберігання структурованих даних, авторизації та push-нотифікацій. Такий стек технологій дозволяє створювати масштабовані, інтерактивні та доступні системи моніторингу навіть без глибоких знань у галузі веб-розробки або баз даних.

Однак традиційні комерційні системи мають низку недоліків, які спонукають до пошуку альтернатив. Насамперед, це висока вартість як початкової інсталяції, так і подальшого обслуговування. Багато з таких систем вимагають ліцензування, складного процесу налаштування або навіть спеціального навчання персоналу. Деякі рішення не передбачають інтеграції з відкритими або хмарними платформами, що ускладнює збереження й обробку даних за межами локальної мережі. Крім того, відсутність гнучкості у зміні конфігурації або підключенні додаткових сенсорів робить такі системи менш придатними до адаптації під специфічні потреби конкретного об'єкта.

Таким чином, аналіз показує, що в умовах обмежених ресурсів або необхідності створити кастомізоване рішення доцільним є використання DIY-підходу на базі ESP32 з інтеграцією в хмарні сервіси Google. Це дозволяє забезпечити повний контроль над мікрокліматом у дата-центрі при збереженні високої доступності, масштабованості та порівняно невеликих витрат.

1.3 Огляд комерційних пристроїв та систем моніторингу параметрів мікроклімату у дата центрі

На сьогодні на ринку представлено досить значна кількість промислових систем для моніторингу мікроклімату.

Одним із пристроїв для моніторингу мікроклімату є контролер мікроклімату Stienen CBA-2006 – розроблений для керування мікрокліматом у приміщеннях із

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						12
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

однією кліматичною зоною. Він належить до серії СВА-2000 і є оптимальним вибором для об'єктів, де потрібен точний контроль температури, вентиляції та обігріву.

СВА-2006 оснащений двома окремими дисплеями, на яких відображаються поточні значення температури в приміщенні та інтенсивність вентиляції. Це дозволяє оператору оперативно контролювати параметри мікроклімату без необхідності занурення в складні меню або додаткові налаштування. Завдяки підтримці 4 точок перегину кривої росту, користувач може створювати гнучкі програми керування мікрокліматом.

З технічного боку пристрій працює від мережі 230 В, 50/60 Гц, а його максимальне енергоспоживання складає 1400 ВА, що говорить про потужні можливості керування системами вентиляції та обігріву. Корпус пристрою виконано з ударостійкого ABS-пластику, має ступінь захисту IP54, що забезпечує надійність у вологих або запилених середовищах, характерних для сільськогосподарських об'єктів. Робочий температурний діапазон – від -5°C до $+40^{\circ}\text{C}$, що дозволяє застосовувати пристрій у різних кліматичних умовах.

СВА-2006 підтримує такі функції керування:

– вентиляція: автоматичне керування за допомогою вимірювального вентилятора, заслінок та центральної витяжної системи, з можливістю активації додаткових вентиляторів при підвищенні температури.

– обігрів: керування як просторовим (повітряним), так і підлоговим опаленням, що забезпечує рівномірний розподіл тепла в приміщенні.

Контролер працює з рядом температурних датчиків:

– основний температурний сенсор (N10B) для вимірювання температури всередині приміщення;

– додатковий температурний сенсор (N10B), який може бути використаний для окремих ділянок або резервного контролю;

– зовнішній сенсор (BV10B), що дозволяє враховувати температуру зовнішнього повітря для більш точного керування мікрокліматом.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						13
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.3 – Microclimate control computer CBA-2006

Sunbird DCIM пропонує програмне забезпечення для моніторингу середовища дата-центрів. Система здатна збирати понад 10 мільярдів точок даних щодня з різноманітних сенсорів, включаючи температуру, вологість, потік повітря та інші. Вона забезпечує візуалізацію даних у реальному часі, включаючи теплові карти та тривимірні моделі, що дозволяє швидко виявляти «гарячі точки» та оптимізувати енергоспоживання. Система також підтримує інтеграцію з різними виробниками сенсорів та обладнання. Інформаційна панель системи Sunbird DCIM подано на рис. 1.4.

Ще одним End-to-end рішенням є Prylada. Prylada пропонує IoT-рішення для моніторингу фізичних активів у дата-центрах (рис. 1.5). Їхня система включає сенсори для вимірювання температури, вологості, концентрації CO₂, виявлення витоків рідини та інші. Дані передаються через NB-IoT мережу до хмарної платформи Prylada Cloud, що забезпечує віддалене налаштування та моніторинг. Система також підтримує живлення через Ethernet (PoE), що спрощує інтеграцію в існуючу інфраструктуру.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

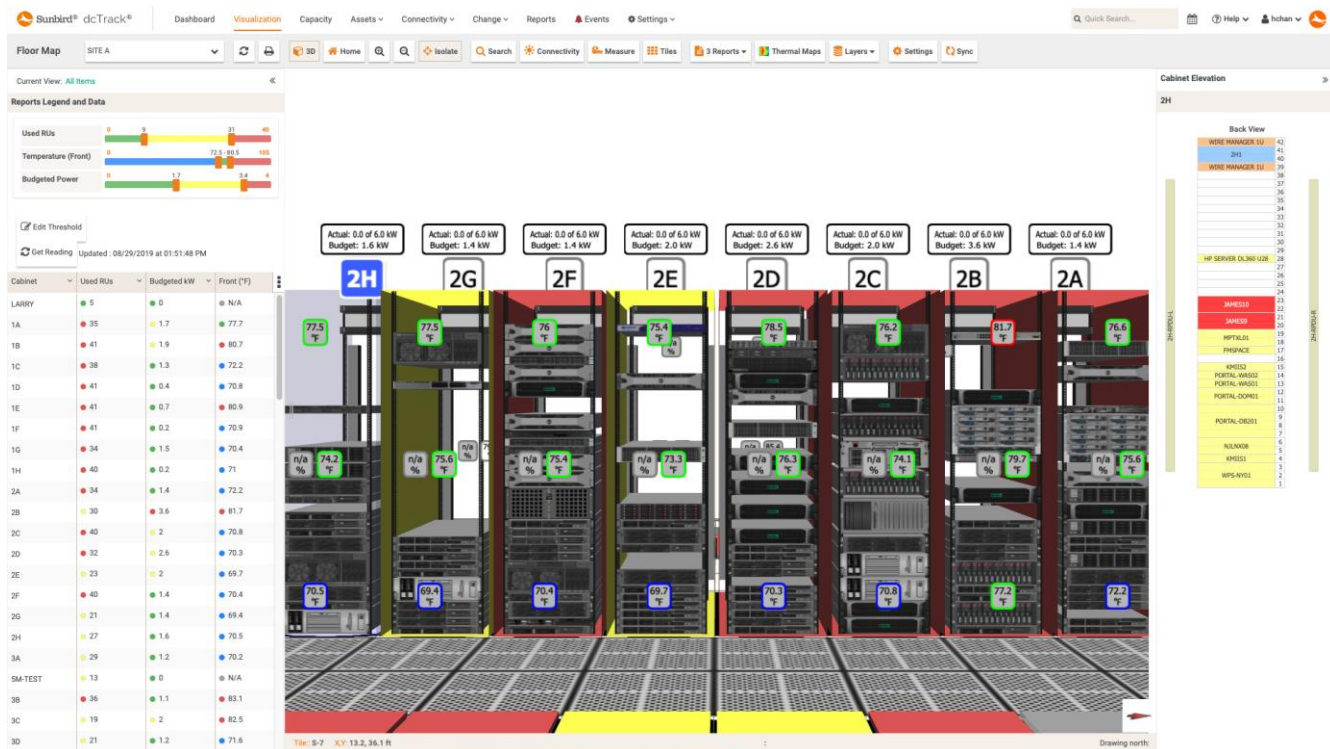


Рисунок 1.4 – Інформаційна панель Sunbird DCIM

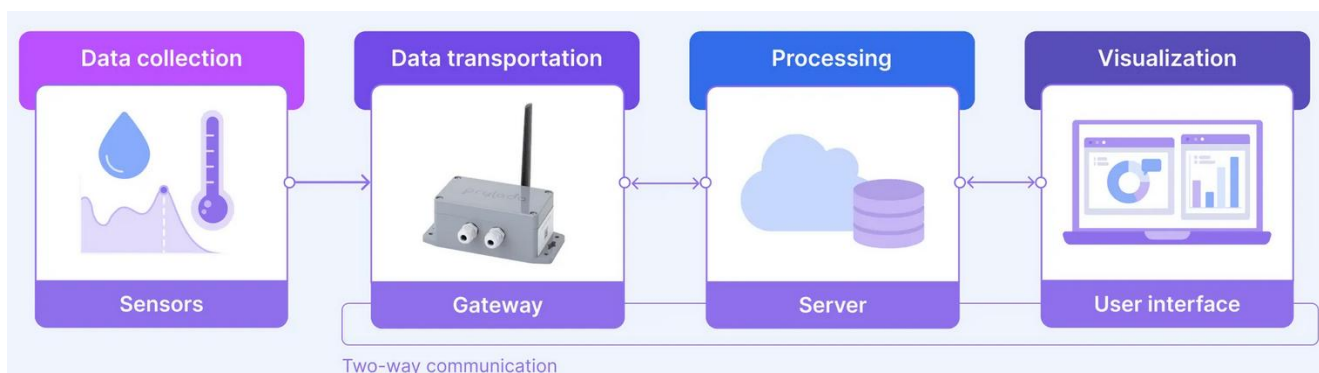


Рисунок 1.5 – End-to-end рішення Prylada

Схожою є система ElcoEMS, основним призначенням якої є моніторинг середовища дата-центрів, і яка забезпечує реальний час візуалізації даних, включаючи температуру, вологість, дим, тиск повітря та інші параметри. Система підтримує інтерактивну карту дата-центру, що дозволяє швидко виявляти та реагувати на проблеми. ElcoEMS також забезпечує гнучку конфігурацію та швидку інтеграцію з існуючими системами.

Іншою системою є SenseAnywhere пропонує бездротову систему моніторингу кліматичних параметрів у дата-центрах. Їхні даталогери

забезпечують вимірювання температури та вологості в реальному часі, з можливістю отримання сповіщень через електронну пошту, SMS або телефонні дзвінки. Система також підтримує API-інтерфейс для інтеграції з іншими системами та забезпечує безпечне зберігання даних.



Рисунок 1.6 – Комплекс рішень від компанії SenseAnywhere

Також APC, підрозділ Schneider Electric, пропонує лінійку продуктів NetBotz для моніторингу середовища в дата-центрах (рис. 1.7). Системи NetBotz включають сенсори для вимірювання температури, вологості, диму, руху та інших параметрів. Вони також підтримують відеоспостереження та інтеграцію з іншими системами управління інфраструктурою.



Рисунок 1.7 – Стійковий пристрій моніторингу Rack Monitor

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

1.4 Google Web App як платформа для обробки та візуалізації даних у системах IoT

Відповідно до поставленого завдання основним місцем збереження даних про мікроклімат обрано платформу Google Sheets, а засобом створення веб-сервера – Google Web App.

Google Web App є потужним та доступним інструментом для створення веб-застосунків, який особливо добре підходить для реалізації систем моніторингу, зокрема таких, що стосуються контролю параметрів мікроклімату в дата-центрах або серверних приміщеннях.

Його гнучкість, хмарна природа та простота інтеграції з іншими сервісами Google дозволяють розробляти надійні програмно-апаратні рішення навіть на недорогих мікроконтролерах, таких як ESP32. У поєднанні з Google Sheets та Google Apps Script, Web App стає ядром інформаційної системи, яка здатна приймати, зберігати, обробляти та візуалізувати дані в режимі реального часу.

Основною перевагою Google Web App є можливість використання стандартних веб-технологій зв'язку. Зокрема, надсилання даних від мікроконтролера до сервера Web App здійснюється через протокол HTTP, який підтримується практично всіма сучасними мікропроцесорами та мікроконтролерами. Завдяки цьому, процес передавання даних є стабільним, стандартизованим і легко реалізованим навіть у найпростіших мікроконтролерних середовищах.

REST API – ще один важливий компонент, який забезпечує взаємодію між клієнтською та серверною частинами Web App. Архітектура REST (Representational State Transfer) дозволяє організувати ефективний обмін інформацією між пристроями та сервером.

Наприклад, мікроконтролер може виконати HTTP GET або POST запит до Web App, де обробка даних відбувається за допомогою Google Apps Script. Отримані параметри, такі як температура, вологість або рівень вуглекислого газу,

записуються у відповідні клітинки електронної таблиці Google Sheets, що дозволяє легко зберігати історію змін і виконувати подальший аналіз.

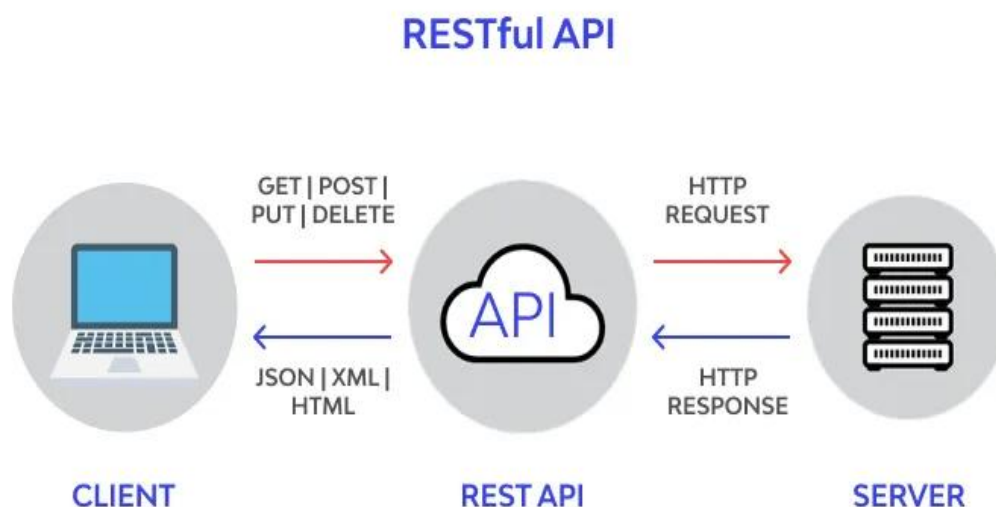


Рисунок 1.8 – Архітектурний стиль REST

Для передачі даних використовується формат JSON (JavaScript Object Notation), який є компактним, читабельним як для людини, так і для машини. JSON дозволяє організувати дані у вигляді структурованих об'єктів, що значно спрощує їх подальше оброблення в Google Script. Завдяки цьому, дані, надіслані з мікроконтролера, можуть бути швидко десеріалізовані на стороні сервера та направлені у потрібні обчислювальні чи візуалізаційні процедури.

Google Apps Script – це основа всієї логіки роботи Web App. Ця хмарна мова програмування, що базується на JavaScript, дозволяє створювати функції, які обробляють вхідні запити, модифікують вміст електронних таблиць, надсилають електронні повідомлення або формують інтерактивні веб-інтерфейси.

Google Script працює на серверах Google, тому забезпечує високу доступність, надійність і масштабованість без потреби розгортання власної інфраструктури. Це особливо важливо для малих проєктів або рішень, де вартість та простота обслуговування є критичними факторами.

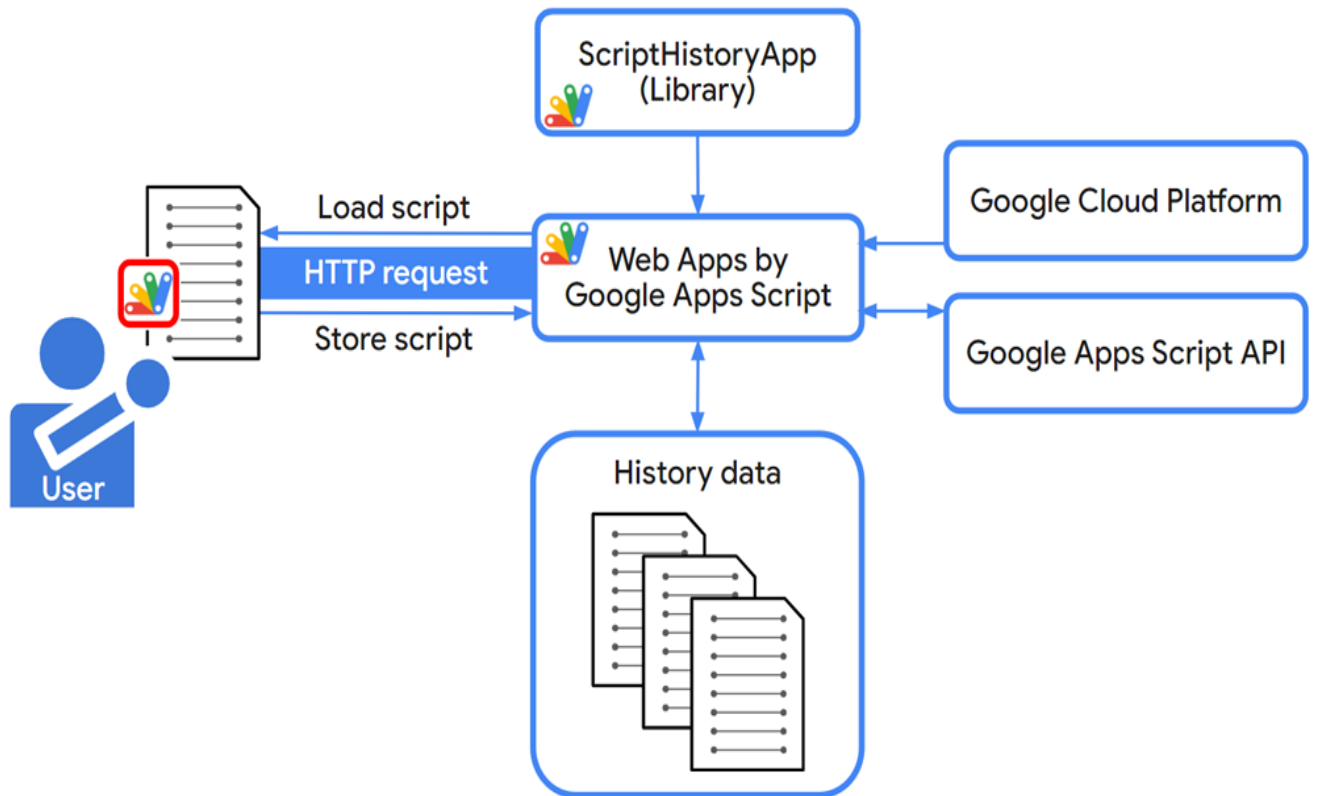


Рисунок 1.9 – Взаємодія за допомогою Google Web App

Ще однією ключовою перевагою використання Google Web App у контексті побудови системи віддаленого моніторингу є його здатність працювати з динамічними веб-сторінками, що відкриває широкі можливості для інтерактивного представлення даних. Зокрема, результати вимірювань, які надходять у режимі реального часу від різних сенсорів, підключених до мікроконтролера ESP32, можуть не лише автоматично зберігатися у таблиці Google Sheets, але й візуалізуватися у вигляді графіків, діаграм, таблиць або спеціальних панелей моніторингу на окремо створеному веб-інтерфейсі.

Такий підхід дозволяє адміністраторам дата-центрів зручно й оперативно контролювати зміну параметрів мікроклімату – температури, вологості, вмісту газів, рівня пилу тощо – а також у режимі реального часу аналізувати тренди, виявляти відхилення від нормативних значень і швидко реагувати на потенційно небезпечні ситуації.

Крім того, можливість налаштування системи сповіщень або інтеграції з іншими сервісами автоматизації підвищує рівень автономності та ефективності загальної системи управління мікрокліматом у дата-центрі.

Основна ідея організації такої системи полягає в тому, щоб створити веб-додаток на базі Google Apps Script, який дозволяє обробляти HTTP-запити, що надходять від пристрою, і записувати або читати дані з пов'язаних сервісів, таких як Google Sheets або Firebase.

Робота починається зі створення скрипту в середовищі Google Apps Script, яке має доступ до різних сервісів Google. У цьому скрипті реалізується функція обробки запитів – як правило, це doGet(e) або doPost(e), яка приймає дані у форматі JSON, що надсилаються з мікроконтролера через протокол HTTP. Наприклад, ESP32 за допомогою бібліотек WiFi та HTTPClient формує POST-запит, у якому передає параметри мікроклімату – температуру, вологість, рівень CO₂ тощо.

Google Web App, опублікований із правами доступу «Anyone, even anonymous», стає доступним за посиланням і може приймати дані без авторизації. Прийняті дані можуть бути збережені в Google Sheets, де їх можна структурувати по колонках, сортувати, обчислювати середні значення, визначати відхилення тощо. Це дає змогу швидко переглядати історію показників, будувати графіки і навіть виявляти потенційні аномалії в роботі обладнання.

Окрім збору, Web App може також використовуватися для відправки даних назад до пристрою. Наприклад, оператор може задати граничні значення температури або вологи у Google Sheets, а Web App при запиті від ESP32 може передати ці значення як конфігураційні параметри для зміни логіки реагування.

Однією з головних переваг такого підходу є простота розгортання, відсутність потреби в окремому сервері, висока надійність інфраструктури Google, а також безкоштовне використання для невеликих обсягів трафіку. Це робить Google Web App чудовим інструментом для DIY-проектів, дослідницьких рішень або навіть малих підприємств, які хочуть забезпечити базовий моніторинг та аналіз параметрів у реальному часі.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						20
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, Google Web App в поєднанні з Google Sheets і Google Apps Script формує потужну екосистему, здатну виконувати функції повноцінної системи моніторингу. Завдяки відкритості технологій, можливості підключення через REST API, передачі даних у форматі JSON та обробки запитів у Google Script, ця платформа ідеально підходить для розробки недорогих, але функціональних рішень у сфері IoT, зокрема для моніторингу критичних параметрів середовища в серверних кімнатах і дата-центрах.

1.5 Висновки. Постановка задачі

Сучасні традиційні системи моніторингу кліматичних умов часто є дорогими, складними у впровадженні та обслуговуванні. Крім того, вони не завжди передбачають можливість оперативного віддаленого доступу до даних у режимі реального часу. У цьому контексті зростає потреба у розробці доступних, гнучких та масштабованих рішень, які дозволяють здійснювати віддалений моніторинг параметрів мікроклімату, зберігаючи при цьому високу надійність та ефективність роботи.

Саме тому використання недорогих мікроконтролерів, таких як ESP32, стає все більш популярним у проектах автоматизації та моніторингу. Цей мікроконтролер має вбудований Wi-Fi-модуль, що дозволяє передавати дані в мережу без потреби у додатковому обладнанні, а також володіє достатньою обчислювальною потужністю для попередньої обробки інформації з датчиків.

Інтеграція таких пристроїв із хмарними сервісами, зокрема Google Web App або Google Sheets, дозволяє реалізувати повноцінну систему збору, зберігання, візуалізації та аналізу даних з будь-якої точки світу. Це дає змогу оперативно реагувати на критичні зміни мікроклімату, впроваджувати адаптивні механізми керування системами охолодження чи вентиляції, а також накопичувати історичні дані для подальшого аналізу і вдосконалення політик обслуговування обладнання.

Таким чином, розробка програмно-апаратного засобу для віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату в дата-центрах є актуальним завданням, що

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

спрямоване на підвищення надійності функціонування критичної інфраструктури. Для вирішення цього завдання потрібно реалізувати наступну послідовність етапів:

- 1) виконати пналіз параметрів мікроклімату дата центру та їх вплив на надійність серверного обладнання;
- 2) розробити структуру та визначити вимоги до програмно-апаратного засобу, визначити формат збереження даних;
- 3) здійснити аналіз та вибір апаратних складових;
- 4) реалізувати електричну схема програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату;
- 5) створити прототип та виконати його тестування у віртуальному середовищі Wokwi;
- 6) створити сервер для опрацювання та запису показників якості повітря дата центру;
- 7) провести оцінку вартості реалізації проєкту і порівняти її із відомим комерційними рішеннями.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						22
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 ПРОЄКТУВАННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСОБУ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ДАТА ЦЕНТРУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ESP32 ТА GOOGLE WEB APP

2.1 Аналіз параметрів мікроклімату дата центру та їх вплив на надійність серверного обладнання

Параметри мікроклімату у приміщенні дата центру є ключовими факторами, що безпосередньо впливають на стабільність, надійність та довговічність функціонування серверного обладнання. Кожен з них відіграє критично важливу роль у підтриманні оптимального середовища, яке дозволяє забезпечити безперервну роботу інформаційних систем і запобігти виникненню аварійних ситуацій.

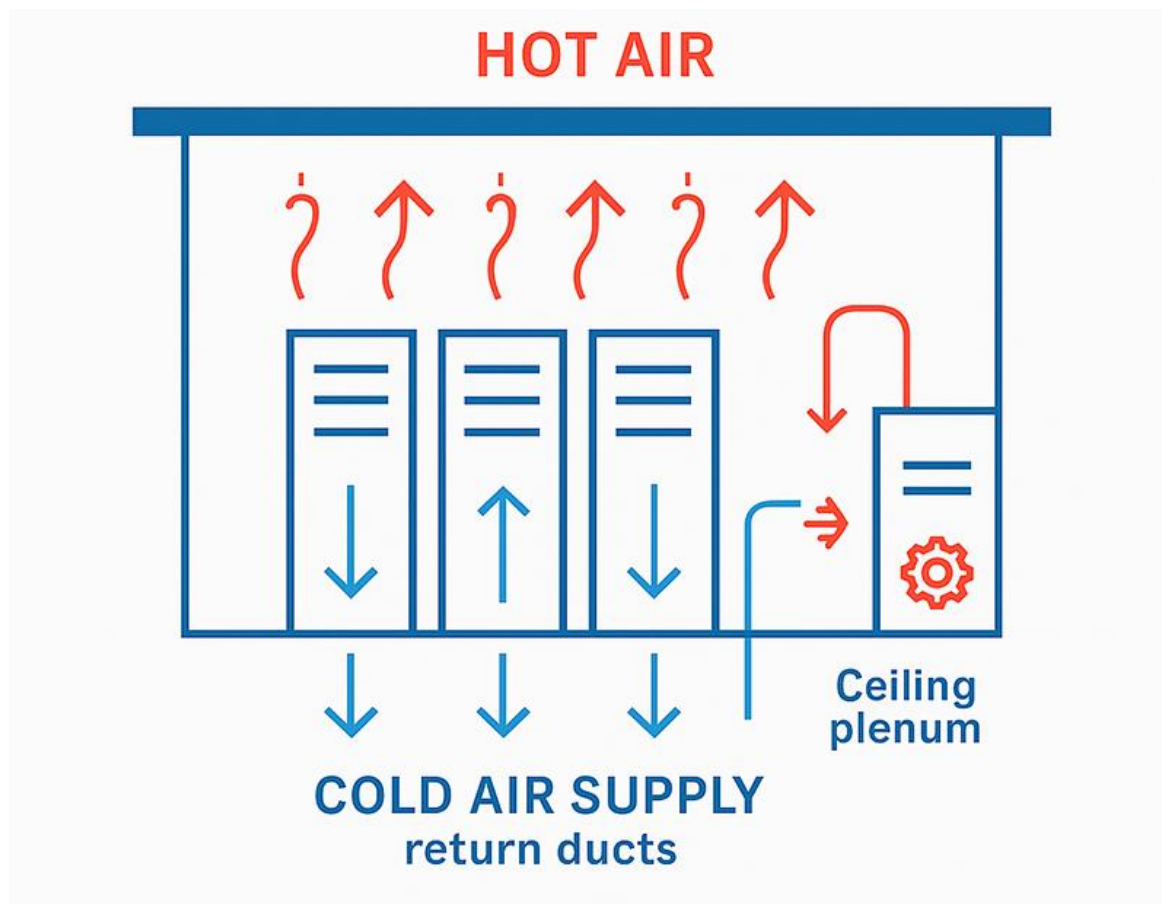
Температура є, без перебільшення, найважливішим параметром для будь-якого дата центру. Сучасні дата центри стикаються зі зростанням теплових навантажень, що зумовлені високою щільністю обчислювального обладнання — blade-серверів, систем віртуалізації, багатоядерних процесорів. У таких умовах параметри мікроклімату, зокрема температура, вологість та організація повітряного потоку, мають критичне значення для стабільної роботи систем.

Перегрів серверів, спричинений надмірною температурою або порушенням циркуляції повітря, може призвести до збоїв у роботі обладнання, зниження продуктивності обчислювальних процесів, а в найгіршому випадку – до фізичного пошкодження компонентів. Навіть незначні відхилення температури або вологості від допустимих значень можуть спричинити утворення конденсату, пересушення повітря чи накопичення статичної електрики.

Ключову роль у підтриманні належного теплового режиму відіграє ефективна організація повітряного обміну (рис. 2.1). Застарілі системи вентиляції з хаотичними потоками повітря вже не відповідають сучасним вимогам. У них холодне повітря подається без чіткого спрямування, а тепле повертається до кондиціонерів безконтрольно, що сприяє утворенню «гарячих точок» та знижує

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						23
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ефективність охолодження. Сучасні підходи передбачають використання фізичного зонування, наприклад, ізоляції гарячих або холодних рядів, що дозволяє забезпечити цільову подачу повітря до серверних інтерфейсів і оптимізувати тепловідведення.



Рисунко 2.1 – Циркуляція повітря у дата центрі

Щоб уникнути як перегріву, так і надмірного охолодження, системи охолодження потребують постійного моніторингу. Для цього використовуються високоточні сенсори, які фіксують зміни температури в реальному часі. Такий моніторинг дозволяє вчасно виявляти відхилення від рекомендованих параметрів та забезпечувати дотримання міжнародних стандартів, зокрема рекомендацій ASHRAE, які встановлюють допустимі діапазони температури (18-27°C) та вологості (20-80%).

Вологість повітря є не менш важливим параметром. Занадто високий рівень вологості може сприяти утворенню конденсату на поверхнях плат, контактів та

мікросхем, що у свою чергу створює умови для коротких замикань і корозії. Надмірно сухе повітря також небажане, адже воно підвищує ризик електростатичних розрядів, здатних пошкодити чутливу електроніку.

Наявність чадного газу (CO) або горючих газів, таких як метан (CH₄), у повітрі свідчить про можливу техногенну небезпеку. Подібні ситуації можуть виникати внаслідок витоку пального з генераторних установок, неповного згоряння або порушень у роботі вентиляційних систем. Для забезпечення безпеки критично важливо своєчасно виявляти навіть незначні концентрації таких речовин у повітрі. Спеціалізовані газові сенсори дозволяють оперативно реагувати на потенційно небезпечну ситуацію ще до того, як вона стане критичною. Окрім цього, такі сенсори здатні виявляти наявність диму, що дає змогу зафіксувати займання на ранній стадії – раніше, ніж спрацюють традиційні системи пожежної сигналізації.

Вуглекислий газ (CO₂) є ще одним із ключових індикаторів ефективності вентиляції в приміщеннях. Підвищення його концентрації може свідчити про недостатнє провітрювання, порушення повітрообміну або збої в роботі фільтраційних систем. Це особливо критично для закритих приміщень дата центрів, де інтенсивна робота обладнання спричиняє активне споживання кисню і виділення тепла. Окрім CO₂, важливо контролювати вміст летких органічних сполук – таких як аміак (NH₃), оксиди азоту (N₂O), бензол, спирти – які можуть бути ознаками забруднення або хімічної нестабільності повітря. Системи моніторингу повітряного середовища дозволяють комплексно оцінювати якість повітря, своєчасно виявляти відхилення від нормативів і коригувати режими вентиляції чи очищення повітря відповідно до поточної ситуації.

Іншим не менш важливим параметром якості повітря в дата центрі є вміст твердих частинок або пилу. У середовищі, де постійно працюють вентилятори, системи охолодження та фільтрації, з часом накопичується мікроскопічний пил, який може осідати на критичних компонентах, таких як радіатори, материнські плати чи блоки живлення. Це призводить до зниження ефективності теплообміну, локальних перегрівів і підвищеного ризику відмов обладнання. Системи

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						25
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

контролю запиленості дозволяють виявляти навіть незначні концентрації твердих частинок, що дає змогу своєчасно виконувати профілактичне очищення й обслуговування вентиляційних систем, попереджаючи можливі збої в роботі інфраструктури.

Таким чином, стабільний мікроклімат у дата центрі є критично важливим для надійної роботи обладнання. Параметри, як-от температура, вологість, концентрації газів, вміст CO₂ та пилу, безпосередньо впливають на продуктивність і довговічність систем. Ефективний моніторинг цих показників дозволяє не лише своєчасно виявляти відхилення, а й запобігати перегріву, займанням, зниженню якості повітря та іншим загрозам, забезпечуючи безперервну і безпечну роботу інфраструктури.

2.2 Структура та функціональні вимоги програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролера ESP32 та Google Web App

Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру, розроблений на основі мікроконтролера ESP32 та сервісу Google Web App, є інтегрованою системою, що дозволяє здійснювати моніторинг стану навколишнього середовища в реальному часі з будь-якої точки світу через Інтернет. Його основна мета – забезпечити безперервний моніторинг критичних параметрів мікроклімату, своєчасне виявлення відхилень від нормативних значень і швидке реагування на потенційно небезпечні ситуації. Завдяки віддаленому доступу, система надає можливість оперативно отримувати дані про показники мікроклімату, забезпечуючи тим самим високий рівень безпеки та ефективності роботи серверного обладнання без необхідності фізичної присутності в дата центрі.

Функціонально пристрій виконує одразу кілька взаємопов'язаних завдань. Насамперед, він забезпечує вимірювання ключових фізичних параметрів середовища за допомогою відповідних датчиків. Температурний режим та рівень

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						26
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

вологості контролюються сенсором DHT22, що дозволяє відстежувати перегрів серверного обладнання або утворення конденсату, що є критичними чинниками для стабільної роботи електроніки. Датчик MQ-2 здійснює виявлення наявності чадного газу (CO), диму, полум'я та метану (CH₄), що забезпечує раннє попередження про можливі займання або витoki горючих газів, наприклад, у випадках неполадок у резервних генераторах або системах вентиляції. Паралельно MQ-135 відстежує концентрацію вуглекислого газу (CO₂), а також шкідливих хімічних речовин – аміаку (NH₃), оксидів азоту (NO_x), бензолу, спиртів – що дозволяє оцінити загальну якість повітря (AQI) та рівень забруднення, що можуть мати негативний вплив на електронні компоненти або персонал. Крім цього, до складу проєктованого програмного-технічного засобу додано ще оптичний сенсор GP2Y1010AU0F, який аналізує концентрацію пилу в повітрі, що дає змогу виявити забруднення, яке накопичується в фільтрах вентиляційних систем і може знижувати ефективність охолодження або спричиняти короткі замикання. Інформація про вимірювані параметри мікроклімату та відповідні датчики в дата центрі, які використовуються у програмно-апаратному засобі віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вимірювані параметри мікроклімату та відповідні датчики в дата центрі

Фізичний параметр	Давач, що забезпечує вимірювання	Роль у дата центрі
Температура	DHT22	Контроль перегріву серверів, оптимізація роботи охолодження
Вологість	DHT22	Запобігання утворенню конденсату або надмірної сухості, що може шкодити обладнанню

CH ₄	MQ-2	Виявлення витоків горючих газів (наприклад, поруч із генератором)
CO (чадний газ)	MQ-2	Індикація неповного згоряння або задимлення, що може вказувати на пожежну загрозу
Дим / гар / полум'я	MQ-2	Раннє попередження про можливу пожежу
CO ₂ (вуглекислий газ)	MQ-135	Оцінка ефективності вентиляції та якості повітря
NH ₃ , NO _x , бензол, спирти	MQ-135	Виявлення шкідливих хімічних сполук, що можуть виділятися з обладнання або матеріалів
Загальна якість повітря (AQI)	MQ-135	Індикатор загального рівня забруднення повітря, як раннє попередження про погіршення
Рівень пилу	GP2Y1010AU0F	Виявлення дрібнодисперсного пилу, який може накопичуватись у вентиляційних системах і пошкоджувати сервери

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ

Арк.
28

Узагальнену структуру програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App наведено на рис. 2.2.

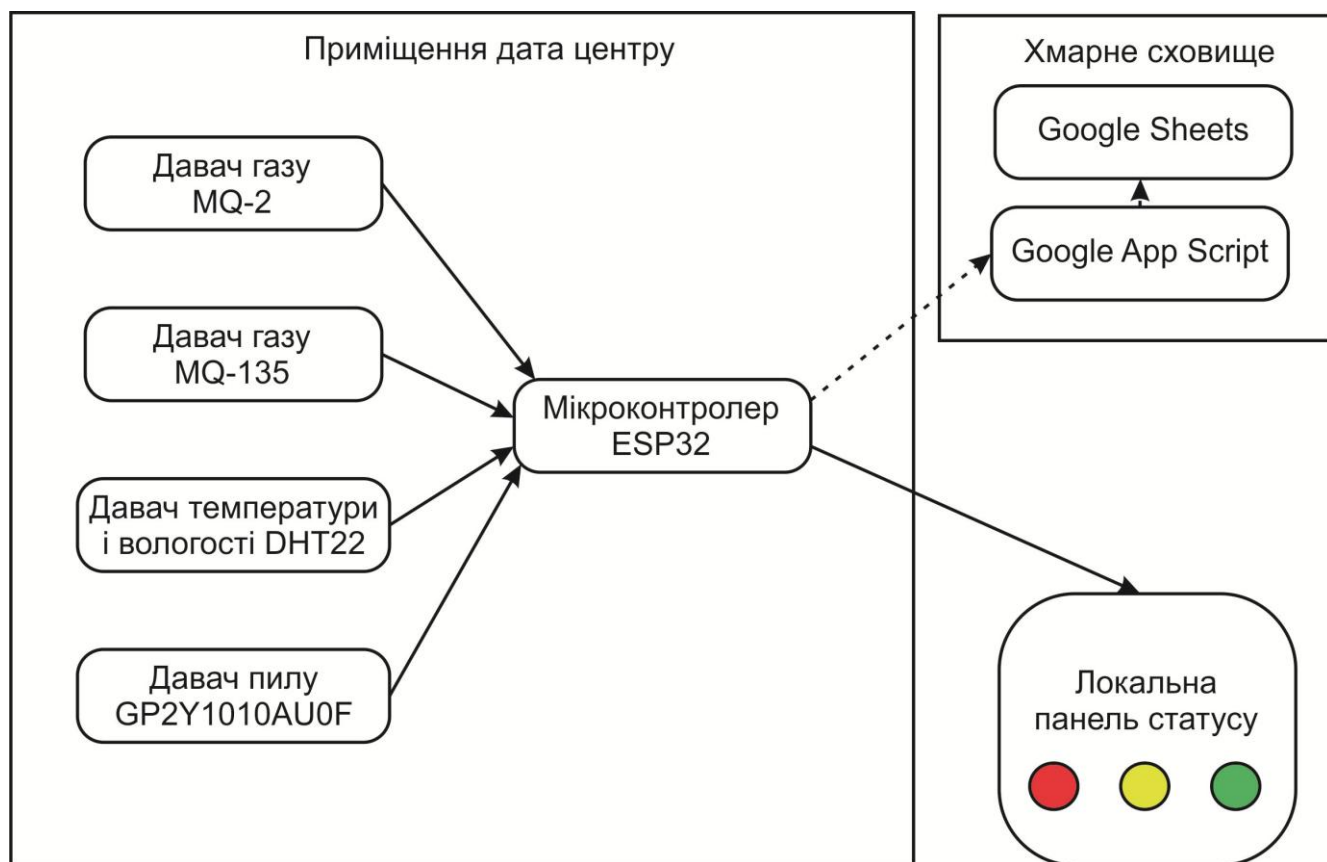


Рисунок 2.2 – Структура програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

Функціонально робота програмно-апаратного засобу організована таким чином, що зібрані дані з усіх сенсорів обробляються безпосередньо на мікроконтролері ESP32. Через кожні 10 секунд відбувається зчитування значень, після чого ці значення автоматично передаються у Google Sheets за допомогою HTTP-запитів до спеціально налаштованого Google Web App скрипта. Це забезпечує зберігання інформації у хмарному середовищі та можливість перегляду статистики з будь-якого місця у режимі реального часу. Таблиця містить такі поля, як дата та час вимірювання, температура, вологість, рівень CO₂,

концентрація пилу та загальний статус середовища, що визначається відповідно до попередньо встановлених порогових значень.

Таблиця 2.2 – Заловок запису у Google таблиці (порція даних)

Дата	Температура	Вологість	CH ₄	CO (чадний газ)	Дим / гар / полум'я	CO ₂ (вуглекислий газ)	NH ₃ , NO _x , бензол, спирти	Загальна якість повітря (AQI)

Також варто відзначити окрему функцію, що забезпечує локальну візуалізацію статусу системи. Біля входних дверей дата центру пропонується розташувати три світлодіоди (зелений, жовтий і червоний), які виконуватимуть функцію індикації поточного стану мікроклімату. Зелений світлодіод вказує на нормальний стан, жовтий – на допустимі, але граничні відхилення параметрів, червоний – на критичні значення, що вимагають негайного втручання. Мікроконтролер ESP32 із підключеними датчиками знаходиться всередині пристрою та обробляє зібрані дані для моніторингу стану навколишнього середовища.

У разі, якщо хоча б один з параметрів перевищує критичний рівень, пристрій виконує надсилання автоматичного сповіщення на електронну пошту адміністратора. Це сповіщення включає всі поточні вимірювання та попередження про виявлену аномалію, що дозволяє оперативно відреагувати, ще до того як ситуація призведе до простою чи пошкодження обладнання.

Таким чином пропонується система віддаленого моніторингу мікроклімату дата центру на базі мікроконтролера ESP32 забезпечує безперервний контроль критичних параметрів середовища, таких як температура, вологість та концентрація газів. Всі зібрані дані обробляються безпосередньо на ESP32 і передаються на платформу Google Web App для зручного віддаленого доступу та аналізу. Основною перевагою є інтеграція з Google Web App, що дозволяє користувачам моніторити стан дата центру в реальному часі через веб-інтерфейс з

будь-якої точки. Локальна індикація стану мікроклімату здійснюється за допомогою трьох світлодіодів (зелений, жовтий, червоний), що дозволяє швидко оцінити ситуацію безпосередньо біля входу в дата центр. Це дає можливість оперативно реагувати на відхилення від норм і запобігати можливим техногенним аваріям.

Таблиця 2.3 – Система оцінювання показників якості повітря за трьома рівнями

Параметр	Добре	Попередження	Небезпека
DHT22 (температура)	18–24 °C	27–30 °C або 15–18 °C	>30 °C або <15 °C
DHT22(вологість)	40–60 %	30–40 % або 60–70 %	<30 % або >70 %
MQ-2 (дим, CO, CH ₄)	<300 (аналог)	300–500	>500
MQ-135 (CO ₂ , AQI)	<300 (аналог)	300–500	>500
Пил (GP2Y1010AU0F)	<50 мкг/м ³	50–100 мкг/м ³	>100 мкг/м ³

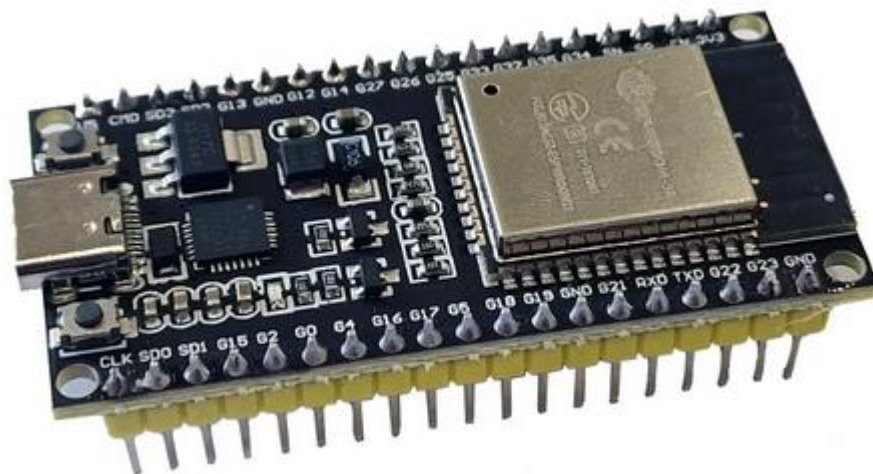
2.3 Аналіз та вибір апаратних складових

Проектування ефективної системи моніторингу повітря вимагає ретельного підбору апаратних компонентів, які б забезпечували точність, надійність та широкий спектр вимірюваних параметрів.

При розробці системи моніторингу якості повітря вибір мікроконтролера відіграє визначальну роль, оскільки саме він виступає обчислювальним ядром усієї системи. ESP32 був обраний для реалізації проекту після ретельного порівняльного аналізу з іншими популярними мікроконтролерами (рис. 2.3).

ESP32 належить до сімейства потужних 32-бітних мікроконтролерів, розроблених компанією Espressif Systems, і пропонує двоядерний процесор

Tensilica Xtensa LX6 з тактовою частотою до 240 МГц. На відміну від свого попередника ESP8266, який має одноядерний процесор з частотою 80 МГц, мікроконтролер ESP32 забезпечує значно вищу обчислювальну потужність. Це особливо важливо для обробки даних з кількох датчиків одночасно, виконання алгоритмів фільтрації та калібрування показників, а також можливого розширення функціоналу системи в майбутньому.



борту більш складні алгоритми аналізу, фільтрації, обробки або передобробки даних, що значно зменшує потребу в частій передачі необробленої інформації на віддалені сервери або хмарні сервіси. Це, своєю чергою, сприяє зниженню затримок, підвищенню надійності системи та забезпечує гнучкість в організації автономної роботи програмно-апаратного комплексу.

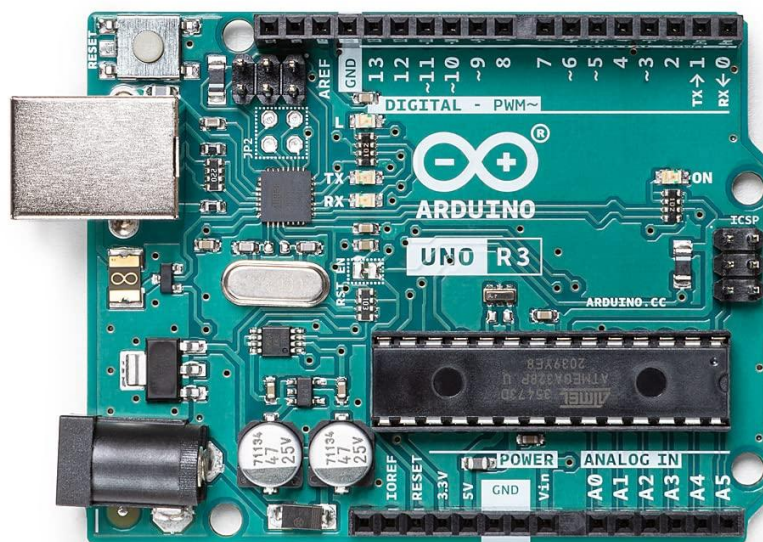


Рисунок 2.4 – Мікроконтролер Arduino

Ключовою перевагою ESP32 є інтегрована підтримка бездротових інтерфейсів Wi-Fi та Bluetooth. На відміну від мікроконтролерів STM32 або AVR, які вимагають додаткових модулів для бездротового зв'язку, ESP32 має вбудовані радіочастотні компоненти, що спрощує конструкцію пристрою та знижує його вартість. Підтримка Wi-Fi стандарту 802.11 b/g/n дозволяє системі моніторингу передавати дані в локальну мережу або хмарні сервіси, забезпечуючи віддалений доступ до інформації про якість повітря. Наявність Bluetooth 4.2 та BLE (Bluetooth Low Energy) розширює можливості взаємодії системи з мобільними пристроями, що важливо для налаштування параметрів та місцевого моніторингу.

ESP32 має багатий набір периферійних пристроїв, що перевершує багато аналогів. Він включає 18 каналів 12-бітного аналого-цифрового перетворювача (АЦП), на відміну від Arduino Uno з 6 каналами 10-бітного АЦП, що дозволяє

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

підключити більшу кількість аналогових датчиків з вищою точністю зчитування. Наявність апаратних інтерфейсів SPI, I2C, UART, I2S, CAN та інших розширює можливості інтеграції з різноманітними сенсорами та модулями розширення.

У порівнянні з Raspberry Pi, яка пропонує вищу обчислювальну потужність та повноцінну операційну систему, ESP32 має суттєво нижче енергоспоживання. У режимі глибокого сну ESP32 споживає лише близько 10 мкА, що критично важливо для автономних систем моніторингу з батарейним живленням. Для порівняння, Raspberry Pi Zero споживає мінімум 100-120 мА навіть у стані спокою, що робить її менш придатною для енергоефективних рішень.

ESP32 підтримує різноманітні режими енергозбереження, включаючи режими легкого сну, глибокого сну та режим сну ULP (ультра-низького споживання), під час яких певні компоненти чи ядра процесора можуть бути вимкнені для економії енергії. Це дозволяє оптимізувати енергоспоживання системи моніторингу повітря залежно від поточних потреб та доступного джерела живлення.

Додатковою перевагою ESP32 є наявність вбудованої флеш-пам'яті обсягом від 4 МБ до 16 МБ (залежно від конкретної моделі), що достатньо для зберігання програмного коду, локального буферизування даних вимірювань та можливого оновлення прошивки через OTA (Over The Air). На відміну від багатьох мікроконтролерів Arduino з обмеженою пам'яттю (32 КБ флеш та 2 КБ RAM в Arduino Uno), ESP32 має до 520 КБ SRAM, що дозволяє реалізовувати більш складні алгоритми обробки та аналізу даних.

З точки зору програмного забезпечення, ESP32 підтримується різноманітними середовищами розробки, включаючи Arduino IDE, ESP-IDF (офіційний фреймворк від виробника), PlatformIO та MicroPython. Це забезпечує гнучкість у виборі мови програмування та інструментів розробки відповідно до навичок розробника та вимог проекту.

Хоча ESP32 дещо дорожчий за базові мікроконтролери Arduino, його вартість залишається досить демократичною (близько 400 грн за модуль), особливо з урахуванням інтегрованих компонентів, які довелося б докуповувати

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

окремо для інших платформ. В контексті загальної вартості системи моніторингу якості повітря, що включає кілька датчиків, додаткова вартість ESP32 компенсується його перевагами та зниженням складності конструкції.

Таким чином, ESP32 постає як оптимальний вибір для реалізації системи моніторингу якості повітря, пропонуючи збалансоване поєднання обчислювальної потужності, енергоефективності, комунікаційних можливостей та вартості. Його характеристики не лише задовольняють поточні вимоги проекту, але й забезпечують потенціал для майбутнього розширення функціональності системи.

Ще одними із важливих компонентів проєктованого програмно-апаратного пристрою є давачі. Для вимірювання температури та відносної вологості був обраний датчик DHT22 (DHT22), який демонструє суттєві переваги порівняно з аналогами. На відміну від DHT11, який має нижчу точність ($\pm 2^{\circ}\text{C}$ для температури та $\pm 5\%$ для вологості) та обмежений діапазон вимірювань ($0-50^{\circ}\text{C}$), DHT22 забезпечує точність $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ для температури та $\pm 2-5\%$ для вологості в розширеному діапазоні від -40°C до 80°C .

Хоча на ринку присутні більш точні рішення, такі як SHT31 від Sensirion з точністю $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ та $\pm 2\%$, але вони мають вищу вартість та вимагають інтерфейсу I2C, тоді як DHT22 використовує простий однопровідний інтерфейс, що спрощує підключення до ESP32. Окрім того, DHT22 має достатню швидкодію для даного застосування з можливістю опитування раз на дві секунди, а також низьке енергоспоживання, що становить близько 2.5 мА під час вимірювання та менше 50 мкА в режимі очікування.



Рисунок 2.5 – Давач DHT22

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Для детекції горючих газів, диму та моніторингу якості повітря було обрано напівпровідниковий датчик MQ-2 (рис. 2.6). Цей датчик здатен виявляти широкий спектр газів, включаючи метан (CH_4), пропан, водень, чадний газ (CO), а також дим і продукти горіння. Порівняно з вузькоспеціалізованими датчиками, такими як MQ-7 (оптимізований для CO) або MQ-4 (оптимізований для CH_4), MQ-2 забезпечує комплексне рішення для виявлення потенційно небезпечних ситуацій, пов'язаних із витоком газу або пожежею. Датчик MQ-2 має відносно швидкий час відгуку (менше 10 секунд), стабільну роботу в діапазоні температур від -10°C до 50°C та тривалий термін служби (понад 5 років). Хоча датчик TGS2600 від Figaro характеризується меншим енергоспоживанням та вищою селективністю, MQ-2 вигідно відрізняється кращим співвідношенням ціна/якість та наявністю як аналогового, так і цифрового виходів, що розширює можливості його використання в різних сценаріях.

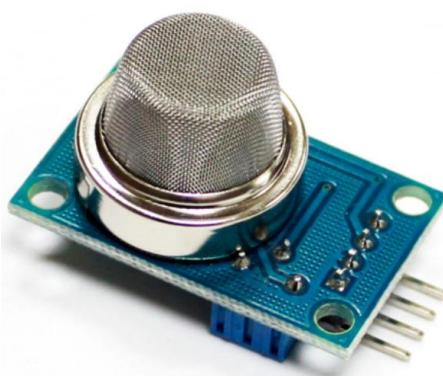


Рисунок 2.6 – Давач MQ-2

Для моніторингу рівня вуглекислого газу (CO_2) та загальної якості повітря використано датчик MQ-135. На відміну від дорогих інфрачервоних датчиків CO_2 , таких як NDIR SCD30 або MH-Z19B, які мають вищу селективність та абсолютну точність, MQ-135 пропонує збалансоване рішення з прийнятною точністю для загального моніторингу якості повітря. Він здатен виявляти не лише CO_2 , але й аміак (NH_3), оксиди азоту (NO_x), бензол, спирти та інші забруднювачі, що робить його універсальним інструментом для оцінки індексу якості повітря (AQI). MQ-135 характеризується відносно низьким енергоспоживанням (близько 150 мВт),

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

простотою інтеграції з мікроконтролерами через аналоговий вихід та помірною вартістю. Хоча датчик CCS811 пропонує цифровий інтерфейс I2C і розрахунок еквівалентів CO₂ та загальних летких органічних сполук (TVOC) безпосередньо в датчику, MQ-135 залишається надійним вибором завдяки широкому діапазону виявлення забруднювачів та стабільності роботи.



Рисунок 2.7 – Давач MQ-135

Для вимірювання концентрації пилових частинок використано оптичний датчик Sharp GP2Y1010AU0F (рис. 2.8). Цей датчик працює за принципом лазерного розсіювання, виявляючи частинки пилу розміром від 0.5 до 10 мкм, що відповідає найбільш небезпечним для здоров'я фракціям (PM2.5 і PM10). Порівняно з більш дорогими моделями, такими як PMS7003 або SDS011, які забезпечують вищу точність та диференціацію за розмірами частинок, GP2Y1010AU0F пропонує оптимальне рішення для базового моніторингу запиленості повітря. Він має компактні розміри, низьке енергоспоживання (близько 20 мА) та простий аналоговий вихід, що дозволяє легко інтегрувати його з аналоговими входами ESP32. Хоча датчик має певну чутливість до зовнішніх факторів, таких як вологість і температура, в контексті комплексної системи моніторингу цей недолік компенсується через можливість корекції показань на основі даних від DHT22.

Обрані датчики у поєднанні з мікроконтролером ESP32 формують комплексну систему моніторингу якості повітря, здатну відстежувати основні параметри мікроклімату, концентрацію небезпечних газів та рівень запиленості.

ESP32 забезпечує достатню обчислювальну потужність для обробки даних з усіх датчиків, має вбудовані Wi-Fi та Bluetooth модулі для бездротової передачі даних, а також аналогово-цифрові перетворювачі з високою роздільною здатністю (12 біт), що дозволяє точно зчитувати аналогові сигнали з датчиків MQ-135 та GP2Y1010AU0F. Така конфігурація системи забезпечує оптимальний баланс між функціональністю, точністю, енергоефективністю та вартістю, дозволяючи створити ефективний пристрій для моніторингу параметрів повітря в приміщеннях та навколишньому середовищі.



Рисунок 2.8 – Давач GP2Y1010AU0F

2.4 Електрична схема програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату

Апаратна складова програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату базується на мікроконтролері ESP32-WROOM-32 (U4), який виступає в ролі центрального обчислювального ядра всієї системи. Саме до нього підключаються всі необхідні давачі, які забезпечують вимірювання температури, вологості, рівня газів, диму та інших параметрів якості повітря в серверному приміщенні дата центру. Електричну схему програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату наведено на рис. 2.9.

Датчик температури та вологості DHT22, на схемі позначено як U1, підключений до ESP32 через вивід IO22. Живлення давача DHT22 здійснюється від лінії 5V, а земля підключена до загальної шини GND. DHT22

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

використовується для відстеження параметрів мікроклімату і надає цифрові дані про температуру та відносну вологість.

Газовий датчик MQ-2 (позначений як U2) призначений для виявлення горючих газів та диму. Його аналоговий вихід A0 підключений до аналогового входу ESP32. Живлення MQ-2 реалізовано від лінії 5V. Датчик потребує 5V живлення для правильного функціонування нагрівального елемента, який необхідний для хімічної реакції з газами.

Датчик якості повітря MQ-135 (позначений як U3) використовується для виявлення аміаку, оксидів азоту, бензолу, диму та CO₂. Його підключення аналогічне MQ-2: живлення від 5V, аналоговий вихід приєднаний до відповідного входу ESP32 (GPIO32). Датчики MQ-2 та MQ-135 доповнюють один одного, забезпечуючи комплексний аналіз газового складу повітря.

Оптичний датчик пилу Sharp GP2Y1010AU0F (позначено як U5) має складніше підключення. Він містить інфрачервоний світлодіод (IRED) і фотодіод (PD) для вимірювання концентрації пилових частинок у повітрі. Інфрачервоний світлодіод випромінює світло, яке розсіюється на частинках пилу, а фотодіод вимірює інтенсивність розсіяного світла. Датчик підключений до аналогових входів ESP32 SENSOR_VP та SENSOR_VN для точного вимірювання різниці напруг. Для коректної роботи датчика пилу в схемі використано підсилювальний ланцюг (Amplifier Circuit), який обробляє та посилює сигнал фотодіода перед передачею на мікроконтролер. Резистор R_s у ланцюзі датчика пилу забезпечує належний струм через фотодіод, що є критичним для точних вимірювань.

Важливим елементом схеми є конденсатор C1 ємністю 220 мкФ. Він виконує функцію фільтрації та стабілізації напруги живлення. Конденсатор згладжує пульсації напруги та забезпечує миттєве джерело енергії при пікових навантаженнях, що особливо важливо при одночасній роботі всіх датчиків і передачі даних через Wi-Fi.

Для індикації стану системи використовуються три світлодіоди (D1, D2, D3) типу 1N4007W. Вони підключені до цифрових виходів ESP32 (IO19, IO18, IO17) через резистори R2, R3, R4 номіналом 220 Ом відповідно. Ці резистори

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						39
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

обмежують струм через світлодіоди до безпечного рівня (приблизно 15-20 мА), запобігаючи їх пошкодженню від надмірного струму. Світлодіоди можуть сигналізувати про різні стани системи: нормальна робота, тривога при перевищенні порогових значень забруднювачів, або помилки в роботі.

Резистор R1 номіналом 150 Ом включений у схему живлення, виконуючи роль обмежувача струму для захисту компонентів системи від можливих перенапруг або струмових сплесків.

ESP32 має численні інтерфейси для комунікації, включаючи SPI (піни SCK/CLK, SDI/SD1, SDO/SD0) та I2C (піни SDA/SD2, SCL/CMD), які можуть використовуватись для підключення додаткових датчиків або модулів пам'яті. Вбудований Wi-Fi модуль ESP32 дозволяє передавати зібрані дані до хмарних сервісів або на локальний сервер.

Всі компоненти схеми працюють від єдиного джерела живлення 5V, яке розподіляється між усіма датчиками та мікроконтролером. При цьому ESP32 має вбудований регулятор напруги, який знижує вхідні 5V до 3.3V для живлення внутрішніх ланцюгів.

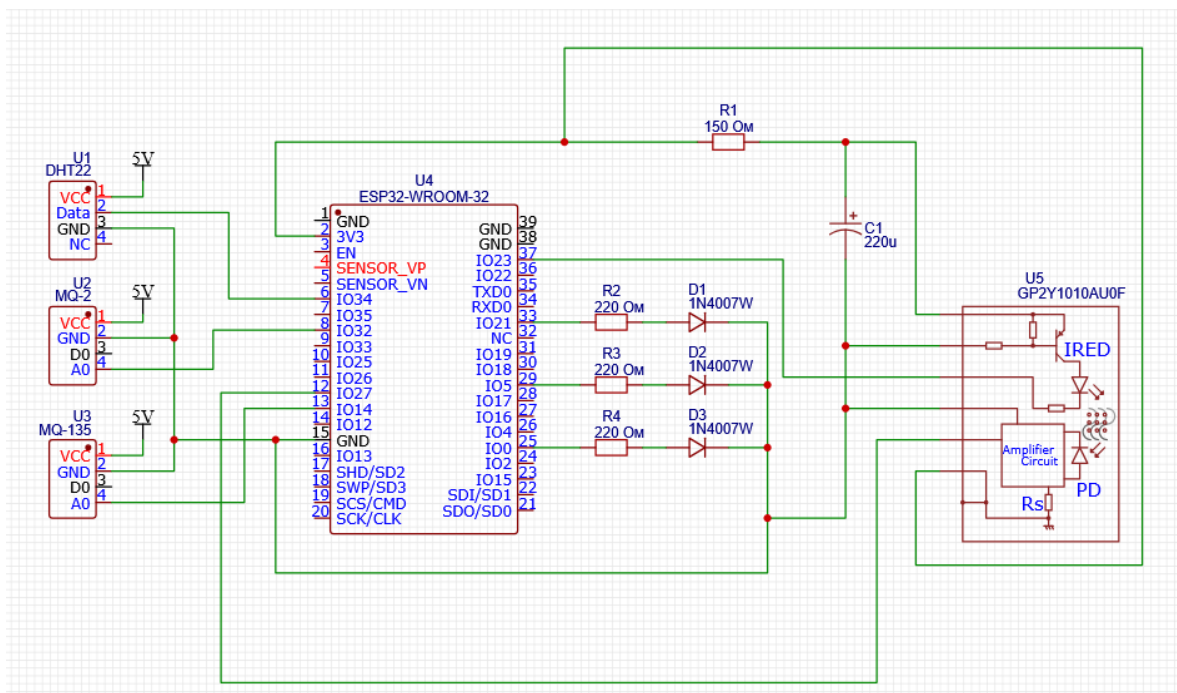


Рисунок 2.9 – Схема електрична програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

2.5 Висновки

У цьому розділі було сформовано функціональну структуру програмно-апаратного засобу для віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролера ESP32 та сервісу Google Web App. Проведено обґрунтований вибір ключових фізичних параметрів, критичних для стабільної роботи серверного обладнання, зокрема температури, вологості, концентрації газів, диму, пилу та загальної якості повітря. Визначено відповідні сенсори, здатні забезпечити надійне й точне вимірювання зазначених показників – DHT22, MQ-2, MQ-135 та GP2Y1010AU0F. Описано функціональні ролі кожного з датчиків у контексті експлуатації в умовах дата центру, а також охарактеризовано їхній вплив на безпеку, ефективність охолодження та збереження працездатності обладнання. Таким чином, у межах цього розділу закладено основу для побудови системи віддаленого моніторингу з елементами автоматизованої обробки даних та хмарної візуалізації.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОТОТИПУ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО ЗАСОБУ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ ДАТА ЦЕНТРУ НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРУ ESP32 ТА GOOGLE WEB APP

3.1 Створення прототипу та тестування у Wokwi

На етапі створення прототипу та тестування програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру була використана онлайн-платформа Wokwi. Вибір саме цієї платформи був обумовлений її широкими можливостями для моделювання проектів на основі мікроконтролерів, зокрема ESP32, що є центральним елементом розробленої системи. Завдяки середовищу Wokwi вдалося створити максимально наближену до реальності віртуальну модель усіх апаратних компонентів, які включали датчики температури та вологості (DHT22), газоаналізатори (MQ-2 та MQ-135) і сенсор пилу (GP2Y1010AU0F), а також візуальні індикатори стану у вигляді світлодіодів різних кольорів (червоного, жовтого і зеленого).

Структура віртуальної схеми у середовищі Wokwi була побудована з урахуванням усіх необхідних апаратних компонентів, які передбачались для реального пристрою. Центральним елементом став мікроконтролер ESP32 DevKit v1, до якого були підключені модулі датчиків через відповідні цифрові або аналогові порти. Для імітації реальних змін навколишнього середовища в умовах симуляції замість фізичних датчиків газу та пилу використовувалися потенціометри. Це рішення дозволило легко регулювати вихідний сигнал, що імітує зміну концентрації шкідливих речовин у повітрі або рівня пилу, і таким чином оперативно перевіряти роботу алгоритмів класифікації стану середовища за різних сценаріїв.

Потенціометри були підключені до аналогових входів ESP32, а їхні значення зчитувалися як напруга, пропорційна рівню концентрації певного параметра. У свою чергу, модуль датчика температури та вологості (DHT22) був підключений через цифровий порт для періодичного збору кліматичних даних.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Логіка роботи була налаштована таким чином, що після обробки даних система оцінювала отримані значення, визначала стан повітря за заздалегідь встановленими порогами і відповідно активувала червоний, жовтий або зелений світлодіод для візуальної індикації. Завдяки використанню потенціометрів стало можливим гнучко симулювати різні аварійні та нормальні умови роботи дата центру, не обмежуючись статичними або запрограмованими даними, а працюючи з живою, змінною інформацією у реальному часі. Модель для симуляції у середовищі Wokwi прототипу програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру наведено на рис. 3.1.

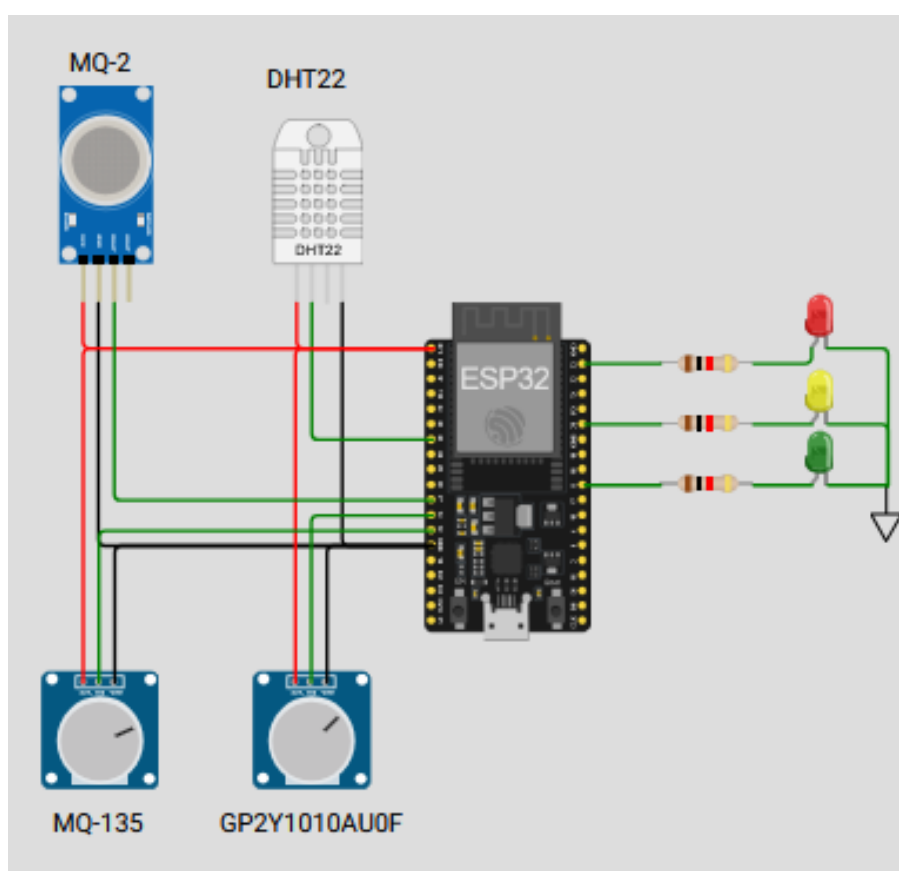


Рисунок 3.1 – Модель для симуляції у середовищі Wokwi прототипу програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі ESP32

У процесі розробки було реалізовано повноцінну імітацію роботи програмного коду, який зчитував дані з датчиків, аналізував отримані значення і

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

визначав загальний стан навколишнього середовища всередині серверної кімнати. В залежності від рівня безпеки (норма, відхилення чи небезпека) автоматично активувалися відповідні світлодіодні індикатори, що сигналізували про поточний стан мікроклімату. Крім локального відображення даних, у проекті також була впроваджена можливість віддаленої передачі зібраної інформації на сервер за допомогою HTTP-запиту до Google Web App, що дозволяло у реальному часі моніторити параметри через хмарні сервіси.

Особливістю даного етапу є те, що в середовищі Wokwi була не тільки протестована робота основних функціональних модулів системи, але й забезпечене моделювання мережевої активності ESP32. Симуляція включала успішне налаштування підключення до Wi-Fi та взаємодію з віддаленим скриптом Google Apps Script, який приймав показники температури, вологості, якості повітря та рівня пилу для подальшого їх зберігання у Google Sheets. Таким чином, була перевірена правильність формування запиту до сервера, обробка даних на стороні вебдодатку та стабільність оновлення інформації на платформі Google.

Крім перевірки базової функціональності, симуляція у Wokwi дозволила виявити і виправити потенційні помилки ще до виготовлення фізичного прототипу пристрою. Зокрема, було оптимізовано обробку ситуацій втрати зв'язку з Wi-Fi мережею, додано механізми повторного підключення та забезпечено резервне збереження останніх вимірних параметрів на випадок тимчасових збоїв. Також віртуальна платформа дала змогу без ризику для обладнання експериментувати з різними режимами роботи датчиків, модифікувати алгоритми обробки даних і налаштовувати граничні значення для класифікації рівня безпеки.

Важливо відзначити, що створення та тестування прототипу у Wokwi дозволило сформувати повністю функціональну віртуальну модель, яка стала основою для подальшого виготовлення фізичного пристрою та впровадження його в експлуатацію.

Результати серії тестувань наведено на рис. 3.2-3.5.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						44
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

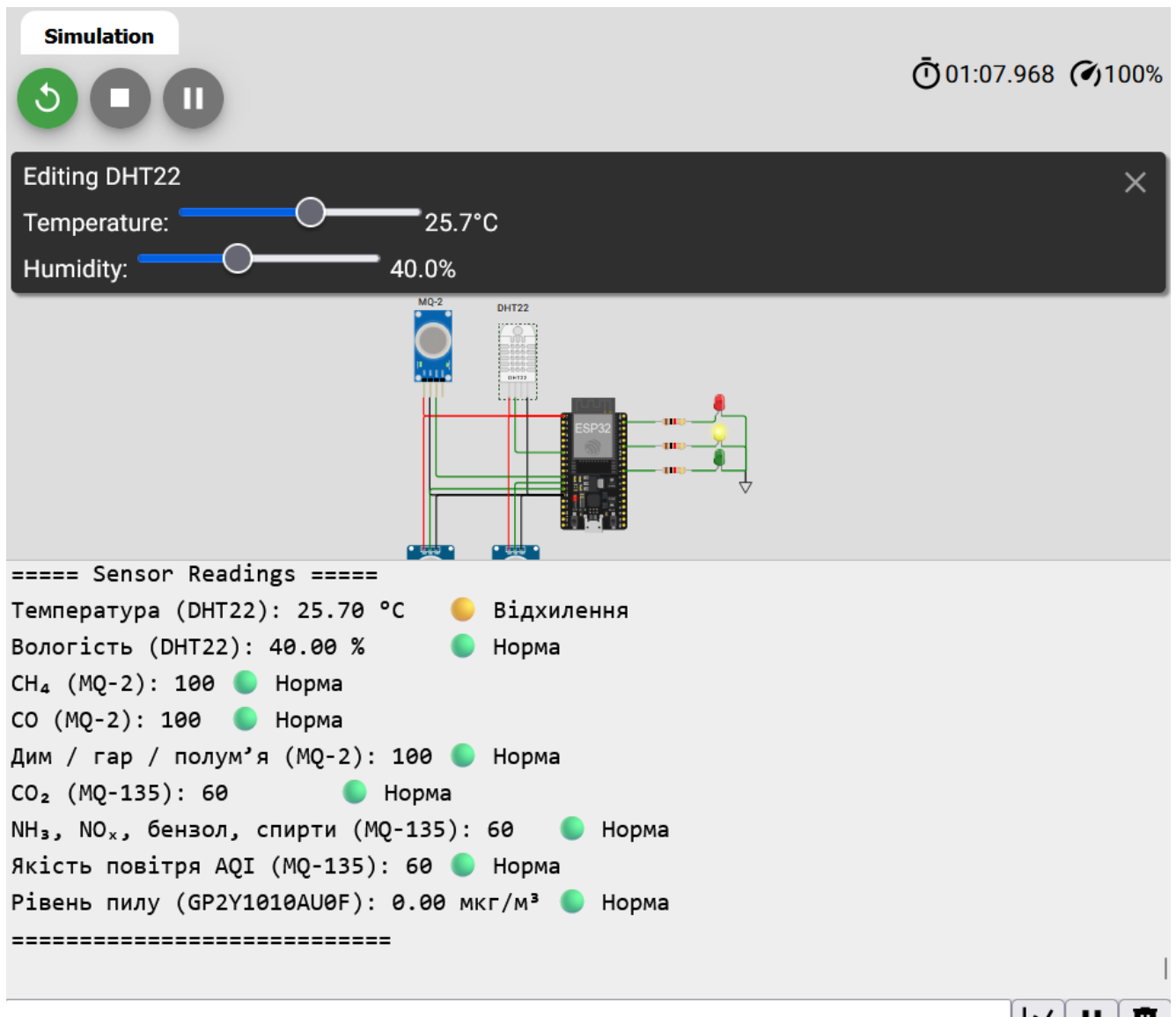


Рисунок 3.2 – Тестування системи (наявність відхилення за показником температура)

Оцінювання показників якості повітря у прототипі програмно-апаратного засобу здійснювалося за допомогою спеціально розробленої багаторівневої логіки класифікації, яка поділяла результати вимірювань на три чітко визначені рівні: «Норма», «Відхилення» та «Небезпечно». Такий підхід дозволив оперативно визначати стан мікроклімату у дата центрі та вчасно реагувати на потенційно небезпечні ситуації, що могли б загрожувати стабільності обладнання.

На практиці це відбувалося наступним чином: кожен з параметрів – температура, вологість, рівень концентрації метану (CH₄), чадного газу (CO), диму або полум'я, вуглекислого газу (CO₂), шкідливих летких сполук (NH₃,

бензолу, спиртів), загальна якість повітря (AQI) та рівень пилу – аналізувався окремо. Для кожного з них були визначені порогові значення на основі нормативних документів і технічних рекомендацій щодо оптимального середовища для роботи серверного обладнання. Зокрема для показників температури та вологості було взято за основу стандарт ASHRAE TC9.9, визначає оптимальні діапазони температур і вологості для серверних кімнат.

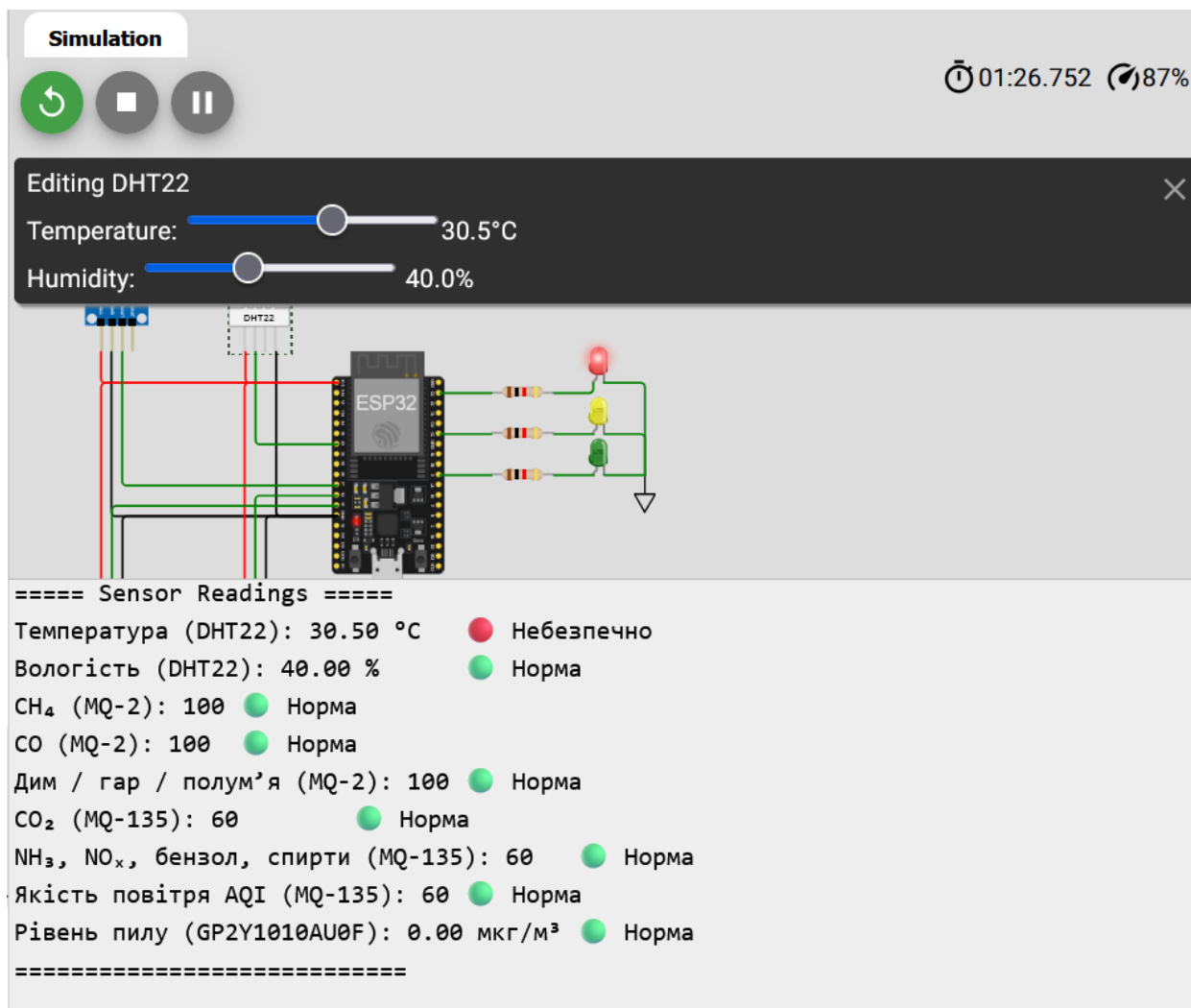


Рисунок 3.3 – Тестування системи (наявність небезпеки за показником температура)

Якщо значення параметра перебувало у межах оптимального діапазону (наприклад, температура від 18 до 24 °C), система автоматично присвоювала йому статус «Норма». Якщо показник виходив за межі оптимуму, але ще не становив

критичної загрози (наприклад, температура 15-18 °С або 24-30 °С), присвоювався статус «Відхилення», що сигналізувало про необхідність уважного моніторингу ситуації. Нарешті, якщо параметр виходив за допустимі безпечні межі (наприклад, температура нижче 15 °С або вище 30 °С), система маркувала його як «Небезпечно», що вимагало негайного втручання.

Результати оцінки кожного параметра окремо впливали на загальний статус системи. Якщо будь-який з показників оцінювався як «Небезпечно», загальний індикатор одразу переходив у режим аварійного попередження. Якщо виявлялися лише відхилення без критичних загроз, загальний статус системи змінювався на попереджувальний. В іншому випадку система залишалася в режимі норми. Така багаторівнева схема аналізу забезпечувала комплексний та достовірний контроль стану мікроклімату дата центру у реальному часі.

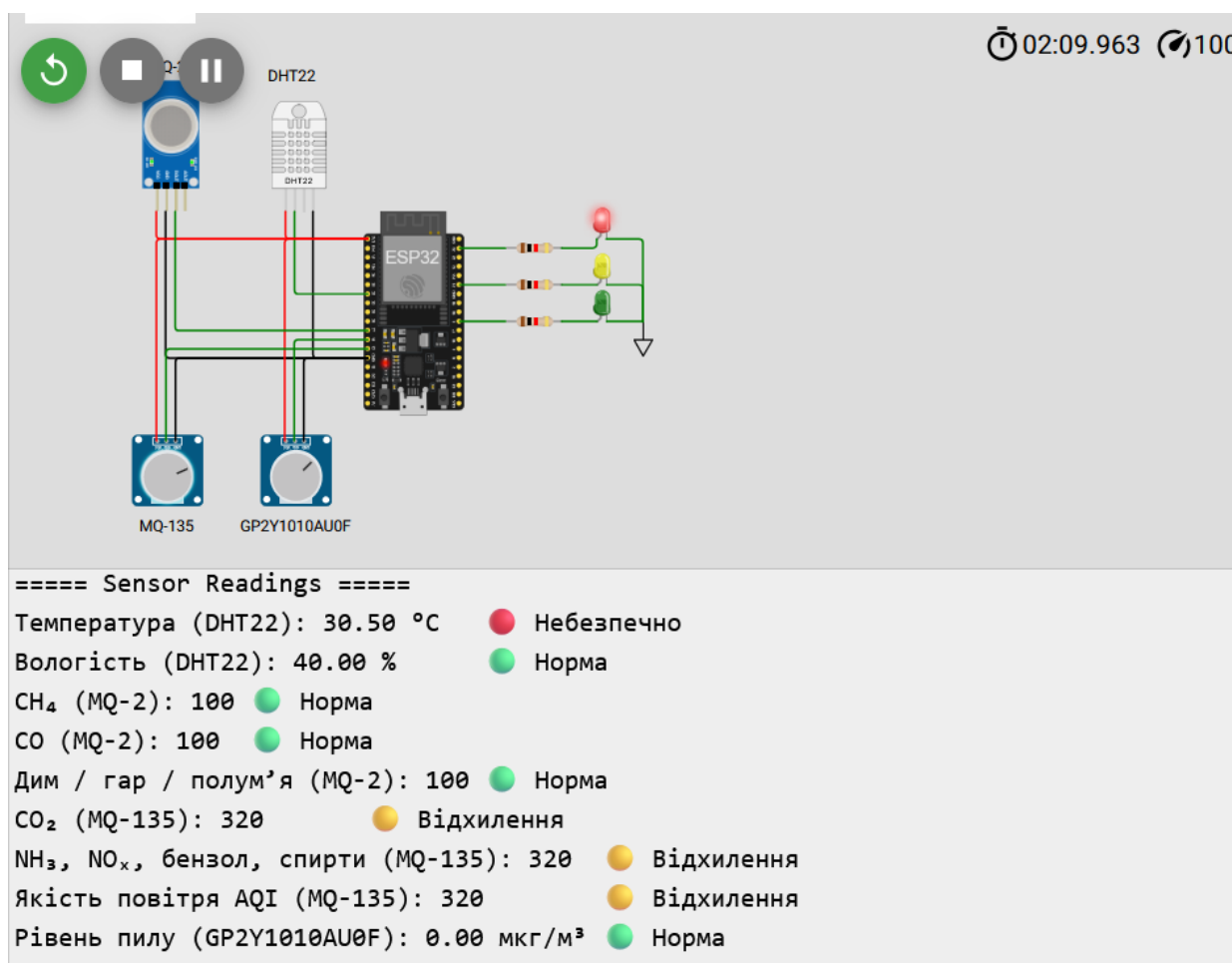


Рисунок 3.4 – Тестування системи (наявність безпеки та відхилення за декількома параметрами)

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Усі зібрані під час симуляції дані про температуру, вологість, концентрацію газів та рівень запиленості передавалися на сервер за допомогою запиту до Google Web App та зберігалися у спеціально створеній Google Таблиці. Таблиця була організована таким чином, що кожен параметр мав власну колонку, а кожен новий запис містив часову мітку для фіксації моменту вимірювання. Завдяки такій структурі зберігання даних стало можливим здійснювати подальший аналіз, виявляти тенденції змін параметрів мікроклімату в реальному часі та оцінювати загальний стан середовища відповідно до встановлених порогових рівнів якості повітря. Це забезпечило основу для оперативного моніторингу та прийняття рішень щодо регулювання умов у дата-центрі. Приклад Google таблиці із зібраними даними наведено на рис. 3.5.

Дата	Час	Температура	Вологість	CH ₄	CO (чадний газ)	Дим	CO ₂ (вуглекислий газ)	NH ₃ , бензол, спирти	Загальна якість повітря (AQI)	Рівень пилу
26/04/2025	10:37:33	24,50	56.2	250	100	45	600	30	72	110
26/04/2025	10:37:50	24,50	56.2	250	100	45	600	30	72	110
26/04/2025	10:37:58	24,50	56.2	250	100	45	600	30	72	110
26/04/2025	10:39:08	24,55	56.2	250	100	45	600	30	75	112

Рисунок 3.5 – Приклад Google таблиці із зібраними даними

3.2 Створення сервера для опрацювання та запису показників якості повітря дата центру

Для опрацювання та запису даних у таблицю було розгорнуто веб-сервер на основі Google Web App, який приймає HTTP-запити від пристрою на ESP32, обробляє отримані параметри та автоматично записує їх у Google Sheets для подальшого моніторингу й аналізу. Блок-схему алгоритми роботи скрипта Google Web App для сервера наведено на рис. 3.6.

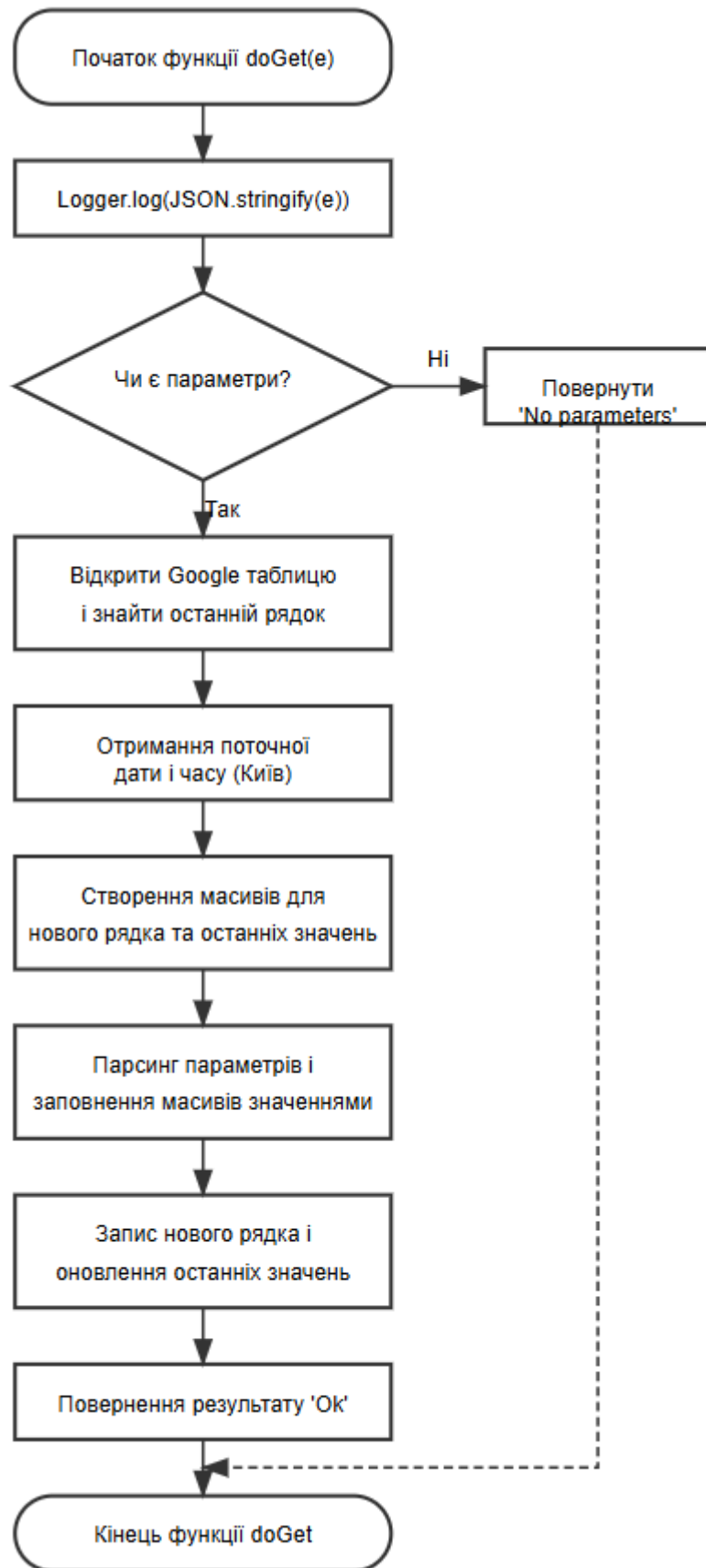


Рисунок 3.6 – Блок-схема алгоритми роботи скрипта Google Web App

Скрипт Google Web App призначений для обробки HTTP-запитів типу GET, які надходять від зовнішніх пристроїв, зокрема мікроконтролера ESP32. Коли надходить запит, скрипт спочатку перевіряє, чи містить він параметри; якщо параметрів немає, він повертає повідомлення «no parameters». Якщо ж параметри присутні, скрипт відкриває електронну таблицю Google Sheets за заданим ідентифікатором і обирає конкретний аркуш для запису даних.

При кожному запиті скрипт фіксує поточну дату і час за часовим поясом і формує масив даних для нового рядка. Після цього відбувається обробка отриманих параметрів: температура, вологість, рівень метану, чадного газу, диму, вуглекислого газу, аміаку, індексу якості повітря та пилу. Значення кожного з цих параметрів розміщуються у відповідні колонки нового рядка.

Одночасно формується окремий масив “останніх значень”, який записується в заздалегідь визначену область таблиці (I3:S3). Таким чином, таблиця не лише зберігає історію змін мікроклімату за допомогою додавання нових рядків, але й постійно оновлює окремий блок із найактуальнішими показниками.

Парсинг параметрів запиту та їх запис у таблицю здійснюється відповідно до наступного фрагменту програмного коду:

```
for (var param in e.parameter) {  
  var value = stripQuotes(e.parameter[param]);  
  switch (param) {  
    case 'temp': rowData[2] = value; latest[2] = value; break; // C, K3  
    case 'humd': rowData[3] = value; latest[3] = value; break; // D, L3  
    case 'ch4': rowData[4] = value; latest[4] = value; break; // E, M3  
    case 'co':  rowData[5] = value; latest[5] = value; break; // F, N3  
    case 'smoke':rowData[6] = value; latest[6] = value; break; // G, O3  
    case 'co2': rowData[7] = value; latest[7] = value; break; // H, P3  
    case 'nh3': rowData[8] = value; latest[8] = value; break; // I, Q3  
    case 'aqi': rowData[9] = value; latest[9] = value; break; // J, R3  
    case 'dust': rowData[10] = value; latest[10] = value; break; // K, S3
```

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

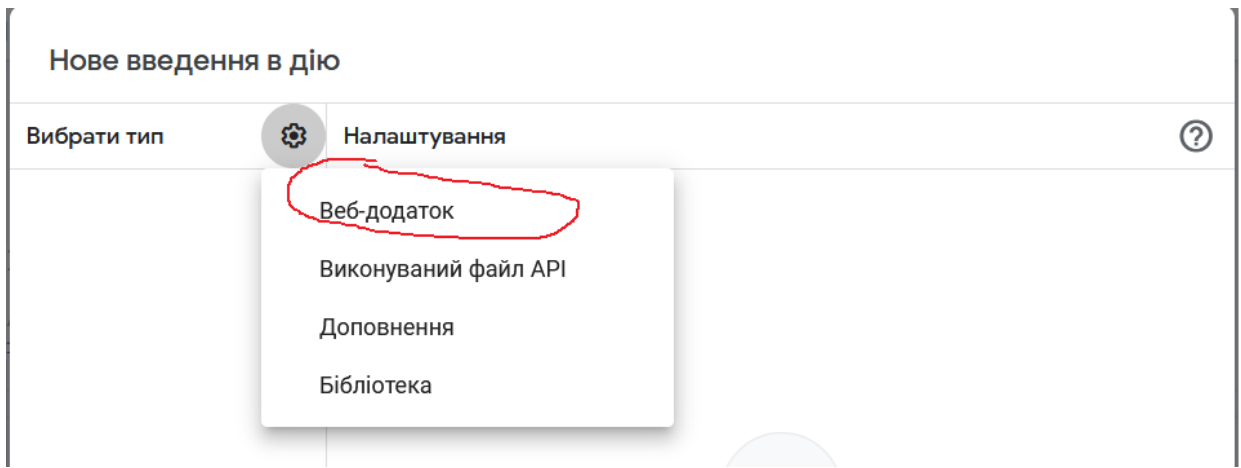


Рисунок 3.8 – Вибір типу серверу

Після написання коду скрипта здійснювалося налаштування параметрів публікації: проєкт було опубліковано як вебдодаток з дозволом доступу для всіх користувачів, які мають посилання, без обмежень на авторизацію. Це дозволило мікроконтролеру ESP32 безпосередньо звертатися до серверного додатку без необхідності проходження додаткової аутентифікації. При публікації система згенерувала унікальне посилання на Web App, яке використовувалося в мікроконтролері як кінцева точка для надсилання запитів. Таким чином було розгорнуто простий, надійний і безкоштовний серверний компонент, який забезпечив безперервний прийом даних і їх запис у хмарне середовище для подальшого аналізу.

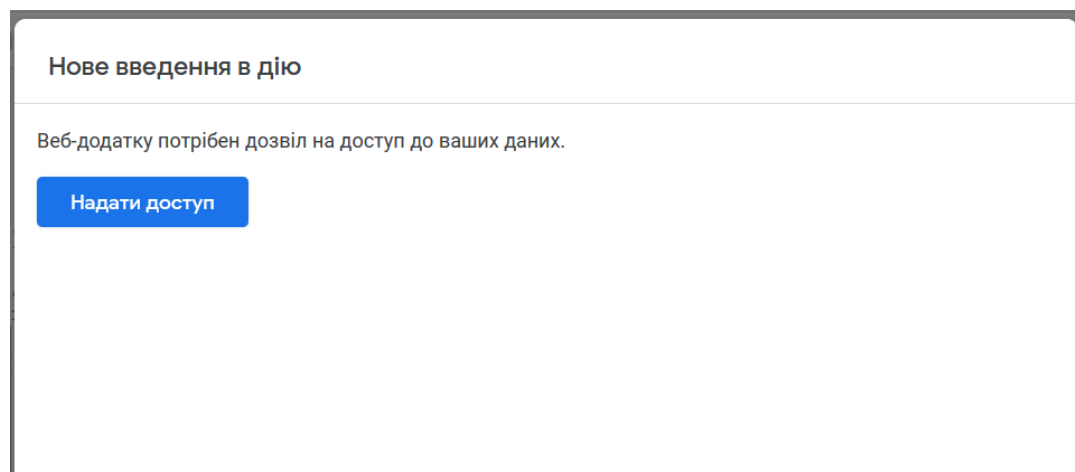


Рисунок 3.9 – Надання доступу

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

(температура, вологість, рівень метану, чадного газу, диму, вуглекислого газу, аміаку, загальної якості повітря та рівень пилу) задавався у відповідному полі. Відправка такого запиту дозволила переконатися, що сервер правильно приймає дані, обробляє їх без помилок і записує у відповідні комірки Google Sheets (рис. 3.11). Це забезпечило впевненість у працездатності серверної частини перед початком реальної взаємодії з апаратною платформою на базі ESP32.

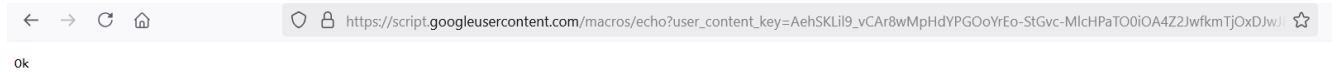


Рисунок 3.11 – Результат тестування сервера

3.4 Створення програмного коду для мікроконтролера ESP32

Основним вузлом, який забезпечує збір та моніторинг показників якості повітря у дана центрі є мікроконтролер ESP32. Блок-схема алгоритму програмного коду для мікроконтролера ESP32 наведено на рис. 3.12.

Алгоритм системи моніторингу якості повітря на базі ESP32 починається з ініціалізації компонентів у функції `setup()`, де налаштовується послідовний порт зі швидкістю 115200 бод для виведення результатів вимірювань, запускається датчик температури та вологості DHT22, а також конфігуруються відповідні піни: вхідний для газового датчика MQ2 та вихідні для трьох світлодіодів індикації стану.

Основний робочий цикл реалізований у функції `loop()`, яка виконується безперервно. На початку кожної ітерації загальний статус системи скидається до значення "норма" (GOOD). Потім відбувається послідовне зчитування даних з усіх підключених датчиків: температури і вологості з DHT22, цифрових показників з газового датчика MQ2, аналогових значень з датчика MQ135 та даних з оптичного датчика пилу GP2Y1010AU0F.

Отримані показники аналізуються за допомогою відповідних функцій оцінки стану.

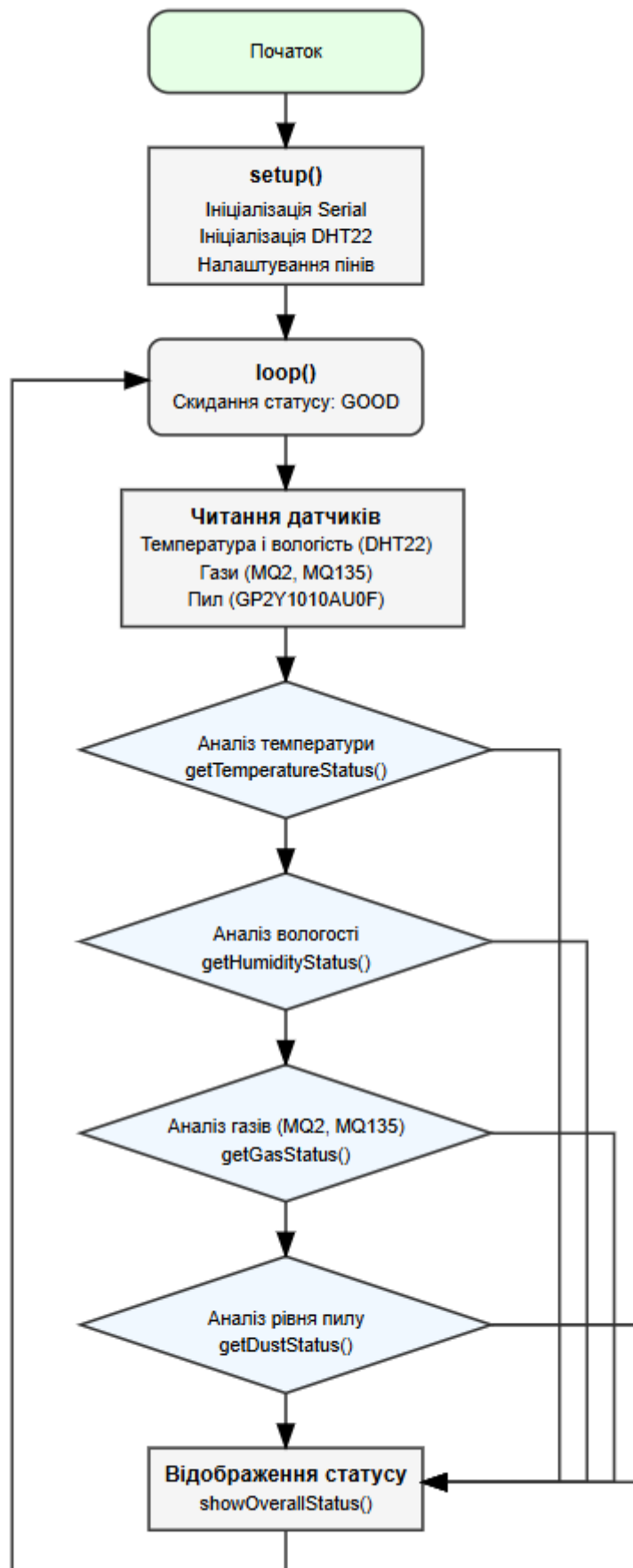


Рисунок 3.12 – Блок-схема алгоритму програмного коду для мікроконтролера ESP32

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Функція `getTemperatureStatus()` визначає, чи знаходиться виміряна температура в нормальному діапазоні (18-24°C), в діапазоні з відхиленнями (15-18°C або 24-30°C), або в небезпечному діапазоні (нижче 15°C або вище 30°C). Аналогічно функція `getHumidityStatus()` оцінює рівень вологості, вважаючи нормою діапазон 40-60%, відхиленням - діапазони 30-40% або 60-70%, а значення поза цими межами - небезпечними. Функції `getGasStatus()` та `getDustStatus()` аналізують показники газових датчиків та рівень запиленості відповідно, також класифікуючи їх за трьома категоріями стану.

Після оцінки кожного параметра викликається функція `updateOverallStatus()`, яка агрегує результати окремих оцінок, приймаючи найгірший стан як загальний. Якщо хоча б один параметр має статус "небезпечно" (DANGER), загальний статус також встановлюється як "небезпечно". Якщо жоден параметр не має статусу "небезпечно", але є хоча б один із статусом "відхилення" (WARNING), загальний статус встановлюється як "відхилення".

На основі загального статусу функція `showOverallStatus()` керує трьома світлодіодами: зелений активується при нормальному стані, жовтий - при наявності відхилень, а червоний - у випадку небезпечних умов. Одночасно з цим усі виміряні показники та їх стани виводяться у послідовний порт у форматованому вигляді з використанням функції `statusToString()`, яка перетворює числові значення статусів у зрозумілі текстові повідомлення з відповідними емодзі.

Завершується кожна ітерація п'ятисекундною затримкою, після чого цикл повторюється, забезпечуючи безперервний моніторинг параметрів повітря. Така архітектура дозволяє системі в реальному часі відстежувати зміни в навколишньому середовищі та своєчасно сигналізувати про потенційні проблеми з якістю повітря, перевищення концентрації шкідливих газів або пилу, а також відхилення параметрів мікроклімату від комфортних значень.

3.5 Оцінка вартості реалізації проєкту

Після проєктування програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App було проведено оцінку вартості його компонентів.

Головним компонентом системи є мікроконтролер ESP32, який представлений на ринку в різних варіаціях. Модуль ESP32-WROOM-32 коштує приблизно 150-280 грн залежно від постачальника та обсягу вбудованої пам'яті. Для даного проєкту оптимальним вибором є модель із 4 МБ флеш-пам'яті вартістю близько 220 грн. Така конфігурація забезпечує достатній обсяг пам'яті для програмного коду та можливого локального зберігання історії вимірювань.

Датчик температури та вологості DHT22 коштує приблизно 110-150 грн. Хоча існують дешевші аналоги, такі як DHT11 за 70-80 грн, вища точність та надійність DHT22 виправдовують додаткові витрати, особливо для системи, що має надавати достовірні дані про мікроклімат.

Комплект газових датчиків становить суттєву частину бюджету. Датчик MQ-2 для виявлення диму, метану та чадного газу коштує близько 90-120 грн, а MQ-135 для моніторингу CO₂ та якості повітря – 100-130 грн. Ці напівпровідникові датчики потребують періодичного калібрування, але є найбільш доступними рішеннями для виявлення широкого спектру газів порівняно з професійними газоаналізаторами, вартість яких може перевищувати 5000 грн.

Оптичний датчик пилу Sharp GP2Y1010AU0F є найдорожчим серед обраних сенсорів із ціною 260-320 грн. Незважаючи на високу вартість, він забезпечує надійне вимірювання концентрації пилових частинок, що є важливим параметром якості повітря, особливо в міських умовах або приміщеннях із потенційними джерелами забруднення.

Для індикації стану системи використовуються три світлодіоди різних кольорів: червоний, жовтий та зелений. Їхня сумарна вартість складає приблизно

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						57
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

15-25 грн. Додатково для обмеження струму через світлодіоди потрібні резистори номіналом 220 Ом, вартістю близько 2-3 грн за комплект.

Електрична схема також включає конденсатор ємністю 220 мкФ для стабілізації живлення (близько 5-10 грн) та різні дрібні компоненти, такі як перемикачі, роз'єми та з'єднувальні дроти, загальною вартістю 50-70 грн.

Для зручного розміщення компонентів потрібна монтажна плата або готова макетна плата, вартість якої варіюється від 50 до 150 грн залежно від розміру та якості. Альтернативою є проєктування та виготовлення власної друкованої плати, що може додати 200-300 грн до загальної вартості, але значно підвищить надійність та компактність пристрою.

Корпус для системи є важливим елементом, який захищає електроніку від пилу, вологи та механічних пошкоджень. Готовий пластиковий корпус відповідного розміру коштує 100-200 грн, але може потребувати модифікації для забезпечення вентиляційних отворів для датчиків. Альтернативним рішенням є виготовлення корпусу на 3D-принтері, що дозволяє створити оптимальну конструкцію з урахуванням особливостей розміщення компонентів. Вартість матеріалів для 3D-друку складає приблизно 100-150 грн, за умови наявності доступу до принтера.

Важливим елементом є блок живлення. Для стаціонарного використання підходить адаптер на 5В із струмом не менше 1А, вартістю 80-120 грн. Для мобільного варіанту можна використати літій-іонний акумулятор ємністю 2000-3000 мАг із відповідним контролером заряду, що додасть до вартості 150-250 грн.

Сумуючи вартість усіх компонентів, отримуємо: 220 грн (ESP32) + 130 грн (DHT22) + 110 грн (MQ-2) + 120 грн (MQ-135) + 290 грн (GP2Y1010AU0F) + 20 грн (світлодіоди) + 3 грн (резистори) + 10 грн (конденсатор) + 60 грн (з'єднувальні елементи) + 100 грн (макетна плата) + 150 грн (корпус) + 100 грн (блок живлення) = 1313 грн.

Таким чином орієнтовна вартість на рівні 1300–1400 грн є досить низькою у порівнянні із відомими комерційними аналогами, що робить даний пристрій доступним рішенням для моніторингу мікроклімату в дата центрах різного

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						58
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

масштабу. Завдяки використанню бюджетних датчиків, мікроконтролера ESP32 та безкоштовних сервісів на кшталт Google Web App, вдалося створити функціональну систему, яка забезпечує базові потреби моніторингу без значних фінансових витрат. При цьому пристрій зберігає можливість подальшого розширення та модернізації як на апаратному, так і на програмному рівні, що дозволяє адаптувати його під специфічні вимоги конкретного середовища.

3.6 Висновки

Таким чином у даному розділі було проведено реалізацію прототипу програмно-апаратного засобу для віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру. Виконано моделювання та перевірку працездатності прототипу у середовищі Wokwi. Була розроблена та розгорнута серверна частина на базі Google Web App, яка відповідає за прийом та збереження даних із сенсорів у хмарну таблицю для подальшого аналізу. Окрему увагу приділено процесу розгортання сервера, налаштуванню обробки запитів та забезпеченню стабільності обміну даними.

Створений програмний код для мікроконтролера ESP32 забезпечив зчитування, попередню обробку та надсилання показників температури, вологості, концентрації газів і рівня пилу на сервер. Було також проведено оцінку вартості реалізації проєкту, яка показала, що створена система є економічно вигідною альтернативою комерційним рішенням. Загалом результати роботи підтвердили можливість розробки доступного та ефективного засобу для забезпечення контролю якості повітря у критичних обчислювальних середовищах.

ВИСНОВКИ

У сучасному інформаційному суспільстві дата-центри відіграють ключову роль, забезпечуючи безперервне функціонування інформаційних систем, обробку, зберігання та передачу даних. Стабільність і надійність роботи серверного обладнання безпосередньо залежать від мікрокліматичних умов його експлуатації, зокрема температури, вологості, якості повітря та циркуляції. Навіть незначні відхилення цих параметрів можуть призвести до збоїв, втрати даних або виходу обладнання з ладу, що тягне за собою фінансові збитки, порушення сервісів і негативні наслідки для репутації компаній. У зв'язку з цим, забезпечення постійного моніторингу мікроклімату є критично необхідним для стабільної та безпечної роботи дата-центрів.

За результатами виконання даної кваліфікаційної роботи було спроектовано та реалізовано прототип програмно-апаратного засобу для віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру. Основу системи становить мікроконтролер ESP32, що забезпечував зчитування показників температури, вологості, концентрації газів і рівня пилу за допомогою датчиків DHT22, MQ-2, MQ-135 та GP2Y1010AU0F. Передача даних реалізована через інтеграцію з Google Web App, яка виступає хмарним сервером для збору, зберігання та подальшого аналізу інформації.

У першому розділі було обґрунтовано актуальність теми, проаналізовано існуючі рішення в галузі мікрокліматичного моніторингу для критичних обчислювальних середовищ та виділено основні фізичні параметри, які впливають на безпечну та ефективну роботу серверного обладнання. Досліджено використання платформи Google Web App для обробки та візуалізації даних у системах Інтернету речей.

У другому розділі було сформовано функціональну структуру програмно-апаратного засобу для віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролера ESP32 та сервісу Google Web App. Проведено обґрунтований вибір ключових фізичних параметрів, критичних для стабільної

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						60
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

роботи серверного обладнання, зокрема температури, вологості, концентрації газів, диму, пилу та загальної якості повітря. Описано функціональні ролі кожного з датчиків у контексті експлуатації в умовах дата центру, а також охарактеризовано їхній вплив на безпеку, ефективність охолодження та збереження працездатності обладнання.

У третьому розділі було здійснено реалізацію прототипу в середовищі Wokwi, розроблено серверну частину для прийому й обробки даних та створено робочий програмний код для ESP32. Було також проведено оцінку вартості реалізації проєкту. Орієнтовна вартість спроектованого програмно-апаратного засобу склала приблизно 1400 грн, що є досить низькою у порівнянні із відомими комерційними аналогами, що робить даний пристрій доступним рішенням для моніторингу мікроклімату в дата центрах різного масштабу.

Загалом результати роботи підтвердили можливість розробки доступного та ефективного засобу для забезпечення контролю якості повітря у критичних обчислювальних середовищах.

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						61
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ASHRAE, URL: <https://www.ashrae.org/> (дата звернення 14.04.2025).
2. Simens, Кімнатні датчики якості повітря (VOC), URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/> (дата звернення 14.04.2025).
3. Автоматизований моніторинг та оцінка якості атмосферного повітря. Методичні вказівки для підготовки студентів за спеціальностями 101 «Екологія» та 103 «Науки про Землю» / Гриб О. М., Чугай А. В. / Одеса: ОДЕКУ, 2019. 58 с.
4. Контроль якості повітря в закритих підземних паркінгах: важливість моніторингу CO і CO₂, URL: <https://www.sentera.eu/> (дата звернення 14.04.2025).
5. Інтелектуальні промислові системи. Вимірювач якості повітря URL: <https://www.promsystem.com.ua/UA/vymiryuvach-yakosti-povitrya/> (дата звернення 14.04.2025).
6. McFarlane R., Data center air quality: The air servers breathe, URL: <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/tip/Data-center-air-quality-The-air-servers-breathe> (дата звернення 14.04.2025).
7. Air quality measurement data centers, URL: <https://heartfil.com/en/datacenters/> (дата звернення 14.04.2025).
8. Data Center Air Quality Standards and Filtration, URL: <https://cc-techgroup.com/data-center-air-quality/> (дата звернення 14.04.2025).
9. Muller C. Air Quality in Data Centers: Humans vs. the Machines, Healthy Buildings America 2015, Boulder, Colorado, 2015.
10. The Alarming Truth About Data Center Air Pollution, URL: <https://mayair.com.my/data-center-air-pollution/> (дата звернення 14.04.2025).
11. Air Quality Challenges, URL: <https://quatroair.com/industries/data-centers> (дата звернення 14.04.2025).
12. Data center emissions and permitting challenges, URL: <https://www.datacenterdynamics.com/en/product-news/data-center-emissions-and-permitting-challenges/> (дата звернення 14.04.2025).

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

13. Ajax, Датчики якості повітря Ajax, URL: <https://ajax.systems/ua/groups/air-quality-detectors/> (дата звернення 14.04.2025).
14. 4 Sources of Indoor Air Pollution in Data Centers, URL: <https://ketchumandwalton.com/4-sources-of-indoor-air-pollution-in-data-centers/> (дата звернення 14.04.2025).
15. How Air Quality Monitoring Keeps Data Center Efficient? URL: <https://www.akcp.com/index.php/2021/03/07/how-air-quality-monitoring-keeps-data-center-efficient/> (дата звернення 14.04.2025).
16. What Are Data Center Air Quality Standards? URL: <https://blog.pegasusclean.com/what-are-data-center-air-quality-standards> (дата звернення 14.04.2025).
17. Asadi E., da Silva M.C.G., Costa J.J. A systematic indoor air quality audit approach for public buildings. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013. Vol. 185. P. 865–875.
18. Marzouk M., Atef M. Assessment of Indoor Air Quality in Academic Buildings Using IoT and Deep Learning. *Sustainability*. 2022. Vol. 14. No. 12. Article 7015.
19. Qabbal L., Younsi Z., Naji H. An indoor air quality and thermal comfort appraisal in a retrofitted university building via low-cost smart sensor. *Indoor and Built Environment*. 2022. Vol. 31. No. 4. P. 1030–1045.
20. Liu Y., Wang Y., Wang Y., Li Y. Indoor Air Quality in Buildings: A Comprehensive Review on the Factors Influencing Air Pollution in Residential and Commercial Structures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021. Vol. 18. No. 6. Article 3276.
21. Qin K.K., Rahaman M.S., Ren Y., Cheng C.T., Cole I., Salim F.D. A System of Monitoring and Analyzing Human Indoor Mobility and Air Quality. *arXiv preprint*. 2023. arXiv:2306.11773.
22. Karmakar P., Pradhan S., Chakraborty S. Exploiting Air Quality Monitors to Perform Indoor Surveillance: Academic Setting. *arXiv preprint*. 2024. arXiv:2408.05779.

23. Berkani M.R.A., Chouchane A., Himeur Y., Ouamane A., Amira A. An Intelligent Edge-Deployable Indoor Air Quality Monitoring and Activity Recognition Approach. *arXiv preprint*. 2023. arXiv:2311.03920.

24. Wei Y., Jang-Jaccard J., Xu W., Sabrina F., Camtepe S., Boulic M. LSTM-Autoencoder based Anomaly Detection for Indoor Air Quality Time Series Data. *arXiv preprint*. 2022. arXiv:2204.06701.

25. Aziz N.A., Salleh N.M., Hashim N.A. Indoor Air Quality Assessment For a Multistorey University Office Building in Malaysia. *Journal of Green Building*. 2019. Vol. 14. No. 4. P. 93–109.

26. Ghaffarianhoseini A., AlWaer H., Omrany H., Ghaffarianhoseini A., Tookey J., Raahemifar K. Indoor air quality in buildings: A comprehensive review on the factors influencing air pollution in residential and commercial structures. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 91. P. 409–425.

27. Zhang Y., Mo J., Weschler C.J. Reducing health risks from indoor exposures in rapidly developing urban China. *Environmental Health Perspectives*. 2013. Vol. 121. No. 7. P. 751–755.

28. Salthammer T., Mentese S., Marutzky R. Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews*. 2010. Vol. 110. No. 4. P. 2536–2572.

29. Mendell M.J., Mirer A.G., Cheung K., Tong M., Douwes J. Respiratory and allergic health effects of dampness, mold, and dampness-related agents: a review of the epidemiologic evidence. *Environmental Health Perspectives*. 2011. Vol. 119. No. 6. P. 748–756.

30. Weschler C.J. Changes in indoor pollutants since the 1950s. *Atmospheric Environment*. 2009. Vol. 43. No. 1. P. 153–169.

31. Fisk W.J., Seppänen O., Faulkner D., Huang J. Economic benefits of an economizer system: Energy savings and reduced sick leave. *ASHRAE Transactions*. 2005. Vol. 111. No. 2. P. 673–679.

32. Air Quality in Data Centers: Why It Matters and How to Improve It, URL: <https://cleanair.camfil.us/2024/03/28/air-quality-in-data-centers-why-it-matters-and-how-to-improve-it/> (дата звернення 04.24.2025).

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						64
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

33. Величко Д., Паламар А.М. Система моніторингу якості повітря в приміщеннях. *Матеріали V Міжнародної студентської науково-технічної конференції "Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання"*. 2022. С. 138.

34. Стороженко Д.О., Дрючко О.Г., Китайгора К.О. Контроль якості повітря всередині приміщень в місцях присутності людини. *Хімія, екологія та освіта: зб. матеріалів IV Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф.* 2020. С. 48–51.

35. Івасенко В., Ганчев Б. Вимірювання діоксиду вуглецю в приміщенні громадських, житлових та офісних будівель. *ScienceRise*. 2018. № 7. С. 4–11.

36. Китайгора К.О., Дрючко О.Г., Юань Ю., Сунь Л. Моніторинг якості повітря в приміщеннях у місцях присутності людей. *Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика*. 2020. С. 203–208.

37. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Винорадов-Салтиков В.О., Суходуб І.О., Яценко О.І. Експериментальне дослідження якості повітря та повітрообміну в закладах освіти та житлових будівлях. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки*. 2020. № 4 (148). С. 25–37.

38. Цаприка М.О., Морозова І.В., Божко К.М. Вдосконалена нечітка модель мамдані для оцінювання якості повітря. *XVIII Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Ефективність та автоматизація інженерних рішень у приладобудуванні"*. 2022. С. 187–190.

39. Радовенчик В.М., Іваненко О.І., Крисенко Т.В., Радовенчик Я.В. Системи моніторингу якості повітря в м. Києві. *Вісник НТУУ "КПІ імені Ігоря Сікорського"*. Серія: Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022. № 1. С. 70–79.

40. Бабій В.В. Аналіз систем моніторингу якості повітря у місті Києві. Політ. Сучасні проблеми науки: *тези доповідей XXI Міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених*. 2021. С. 82–83.

41. Макаренко Л.І., Приймак О.В. Забезпечення рекомендованої ВООЗ якості повітря в офісних приміщеннях з існуючою системою вентиляції. *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. 2023. № 44. С. 17–22.

42. Пастернак О.М., Данилова С.В. Порівняльний аналіз даних систем моніторингу атмосферного повітря. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Екологія»*. 2021. № 24. С. 20–30.

43. Ковальчук І.О., Петренко М.В. Аналіз впливу вентиляційних систем на якість повітря в навчальних закладах. *Екологічні науки*. 2019. № 3. С. 45–50.

44. Сидоренко А.П., Литвиненко Т.Г. Дослідження рівня забруднення повітря в офісних приміщеннях. *Технічні науки та інновації*. 2020. № 2. С. 60–65.

45. Гончаренко В.І., Кравченко Л.М. Вплив систем кондиціонування на якість повітря в житлових будинках. *Будівництво та архітектура*. 2018. № 4. С. 30–35.

46. Мельник О.С., Ткаченко І.В. Оцінка ефективності очищення повітря в медичних установах. *Медична екологія*. 2021. № 1. С. 25–29.

47. Espressif ESP32, URL: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32> (дата звернення 04.24.2025).

48. Газоаналізатор Honeywell BW Solo CO H2S O2 SO2 PH3 O3 NO2 NO NH3 HCN ETO CON CLO2 CL2 CO2 детектор з Bluetooth, URL: <https://tdz.net.ua/ua/p2446004835-gazoanalizator-honeywell-solo.html> (дата звернення 04.24.2025).

49. Simat, QPM1100 Датчик якості повітря, URL: <https://simat.com.ua/product-qpm1100> (дата звернення 04.24.2025).

50. Датчик якості повітря температури вологості Ajax LifeQuality, URL: <https://futurio.com.ua/rozumnyi-datchyk-yakosti-povitria-ajax-lifequality-bilyi-42982> (дата звернення 04.24.2025).

51. Most Popular Data Center Environmental Sensors, URL: <https://www.sunbirdcim.com/blog/most-popular-data-center-environmental-sensors> (дата звернення 04.24.2025).

					КВРКІ. 210357.21.03.21 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

52. Microclimate Cave Monitoring System, URL: https://www.microstep-mis.com/web/products?category=meteorology_climatology&product=microclimate_cave_monitoring_system (дата звернення 04.24.2025).

53. MIRRA: A Modular and Cost-Effective Microclimate Monitoring System, URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/13/4615> (дата звернення 04.24.2025).

54. Designing microclimate monitoring systems for hydroponic farming, URL: <https://www.verticalfarmdaily.com/article/9705633/designing-microclimate-monitoring-systems-for-hydroponic-farming/> (дата звернення 04.24.2025).

55. Аспекти побудови систем моніторингу параметрів мікроклімату в приміщеннях, URL: <https://ten.ztu.edu.ua/article/view/269348> (дата звернення 07.05.2025).

56. Моніторинг мікроклімату, URL: <https://sites.google.com/view/co2monitor> (дата звернення 04.24.2025).

57. Розрахунок - Stego в Україні - Системи контролю мікроклімату, URL: <https://stego.net.ua/calculation.html> (дата звернення 04.24.2025).

58. Microclimate Monitoring System Design for the Smart Grid Analysis, URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896322004682> (дата звернення 04.24.2025).

59. Design and construction of microclimate monitoring system, URL: <https://pubs.aip.org/aip/rsi/article/78/8/086104/911603/Design-and-construction-of-microclimate-monitoring> (дата звернення 04.24.2025)

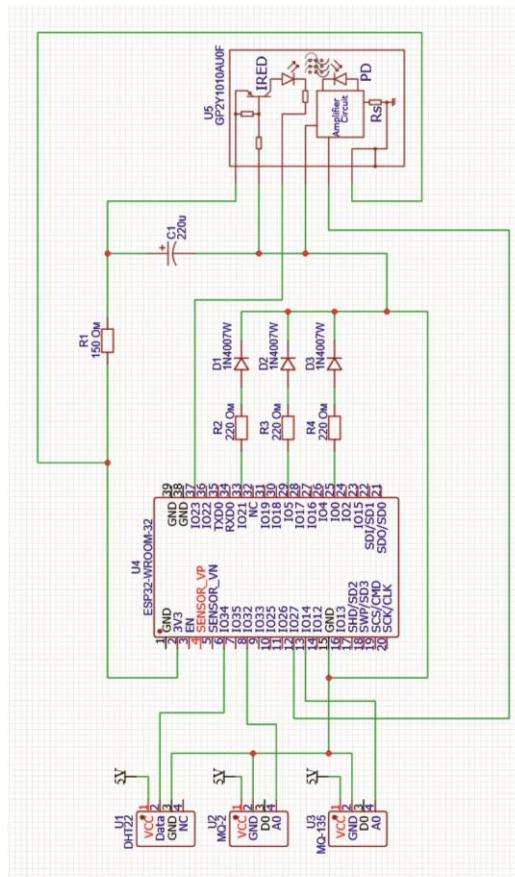
60. Simat, QPM1100 Датчик якості повітря, URL: <https://simat.com.ua/product-qpm1100> (дата звернення 04.24.2025).

Додаток Б

(обов'язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА»

КерПК. 210357.21.03.21. E4



КерПК. 210357.21.03.21. E4		Датум:	Місяц:	Рік:
Схема електрична				
Стр. №:	№ докум.:	Листів:	Кількість:	
Розроб:	Виконав:	Затверд.		
Перевірив:	Проверив:	Затверд.		
Начальн. бюро:	Відом. бюро:			
СІП:	Відом. С.О.:			
		ЖНУ КДЗ.21.3		

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

Данило БОРОДИШИН

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-21-3

ЗАЯВА

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

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

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

20 травня 2025 року



Anti-Plagiarism v-15.274 Educational

The maximum coincidence with one document 0.0%

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

ID: 241651 Title: БКР Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App Added in a DB: 2025-05-21 Authors: Данило БОРОДИШИН Heads: Валерій МАРТИНЮК Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	90223	606	1020 (1%)	15 (2%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

Автор Данило БОРОДИШИН

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 123- Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: д.т.н., професор, Валерій МАРТИНЮК

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 укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	Не виявлено

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) 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 9.80% і адресується до 25 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи



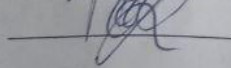
Валерій МАРТИНЮК

Гарант ОП



Андрій НІЧЕПОРУК

Завідувач кафедри КПС



Ольга ПАВЛОВА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Данило БОРОДИШИН

Тема: Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень 3 ; кількість сторінок записки 67

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень У роботі запропоновано програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню _____
Дипломний проект відповідає виданому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено аналіз предметної області та виконано постановку завдання. У другому розділі проведено проектування програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру. У третьому розділі реалізовано програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру

4. Позитивні сторони роботи: Виконано проектування та реалізовано прототип програмно-апаратного засобу віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату дата центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

5. Негативні сторони роботи: Було б доречно розглянути альтернативні технології та засоби збереження даних, зокрема бази даних, оскільки використання

Google web app не дозволяє в повній мірі використати механізми запитів до даних

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи:
пояснювальна записка та листи креслення виконані згідно діючих вимог

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

8. Інші зауваження: —

9. Оцінка дипломної роботи:

Розглянувши позитивні та негативні сторони представленої дипломної роботи вважаю, що робота заслуговує оцінки «відмінно» 4,0 (С)

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

Макашин Борис Анатолійович доцент, к.т.н, кафедра АКТГР

«02» грудня 2025р.

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: Данило БОРОДИШИН

Співавтор:

Назва: Бородишин Програмно-апаратний засіб віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату центру на основі мікроконтролеру ESP32 та Google Web App

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:3.9%

Коефіцієнт подібності 2:1.4%

Мікропробіли: 24

Заміна букв: 5

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-05-21 21:33:25.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

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

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

Обґрунтування:

2025-05-22

Дата

Доцент Андрій Нічепорук

експерт