

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та  
робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Системи моніторингу параметрів навколишнього середовища

Назва теми

КВРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Шифр, назва

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

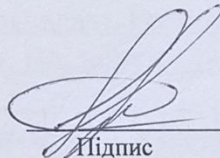
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Назва

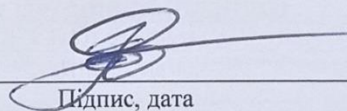
Виконав:

студент III курсу, група АКІТс-22-1

  
Підпис

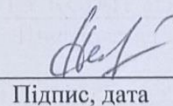
Олексій ПУКАС  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник

  
Підпис, дата

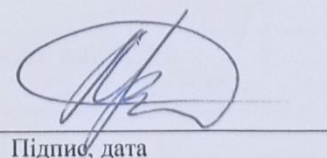
Ірина ФОРКУН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Людмила КОРЕЦЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:  
зав. кафедри автоматизації  
та комп'ютерно-інтегрованих  
технологій та робототехніки

  
Підпис, дата

Валерій МАРТИНЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

« 19 » червня 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інформаційних технологій

Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТтаР

Валерій МАРТИНЮК

07 лютого 2025р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Пукасу Олексію Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Системи моніторингу параметрів навколишнього середовища

Керівник роботи канд.техн.наук., доцент Ірина ФОРКУН

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

Затверджено наказом ректора університету від 07.02.2025 р. №23

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.06.2025р.

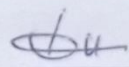
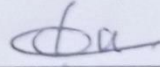
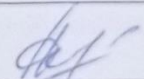
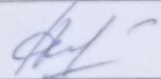
3 Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Вступ. Огляд методів розв'язання поставленої задачі. Розробка схемотехнічних рішень. Розробка алгоритму роботи програмного забезпечення. Висновки

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)  
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

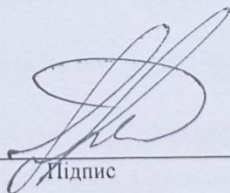
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 07 лютого 2025р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

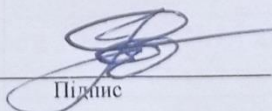
Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вибір та затвердження теми кваліфікаційної роботи; розробка завдання на кваліфікаційну роботу; складання календарного графіка виконання кваліфікаційної роботи	01.03.2025	Виконано
2 Вивчення предметної області, в якій планується використання системи автоматизації; аналіз вимог до системи автоматизації	15.03.2025	Виконано
3 Проектування та розробка загальної архітектури і структури системи автоматизації, інтерфейсу користувача; вибір засобів реалізації системи автоматизації	29.03.2025	Виконано
4 Програмна реалізація та тестування системи автоматизації	12.04.2025	Виконано
5 Написання тексту пояснювальної записки та розробка графічних матеріалів	19.04.2025	Виконано
6 Остаточне коригування кваліфікаційної роботи з урахуванням зауважень керівника; оформлення кваліфікаційної роботи як документа відповідно до вимог	11.04.2025	Виконано
7 Отримання супровідних документів (відгуку керівника, рецензії, довідки про перевірку на плагіат); нормоконтроль	30.05.2025	Виконано
8 Підготовка до захисту та захист кваліфікаційної роботи	03.06.2025	Виконано

Студент

  
Підпис

Олексій ПУКАС  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис

Ірина ФОРКУН  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Системи моніторингу параметрів навколишнього середовища».

Автор роботи: Олексій ПУКАС

Керівник роботи: Ірина ФОРКУН

Пояснювальна записка: 61 с., 26 рис., 1 табл., - дод., 40 джерел.

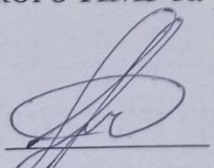
Графічна частина: 8 презентаційних слайдів.

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, РОЗУМНИЙ ДІМ, МІКРОКОНТРОЛЕРНИЙ ПРИСТРІЙ, БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ.

Метою роботи є розробка автоматизованої системи керування будинком.

Бакалаврська робота представляє загальну концепцію системи опалення, яка розроблена шляхом подальшої розробки та поглиблення підсистем. Всі технічні деталі системи мікроклімату розроблені на основі базової технології. Визначено всі параметри, що впливають на систему, а також інтервали часу виконання.

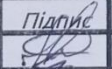
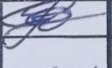
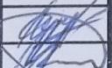

Обрано контролер, який відповідає вимогам проектної системи та має можливість розширення для розробки системи, якщо це необхідно. Вибір екстракційно-виконавчого обладнання здійснюється відповідно до вимог системи мікроклімату. Для полегшення підключення пристроїв в якості технічного засобу була обрана централізовано-децентралізована архітектура. Розроблено базові алгоритми, які можна використовувати для безпосереднього програмування контролера. Вибрано пакет програм для розробки операторського НМІ та розроблено операторський інтерфейс.

  
Підпис студента

19.06.2025р.  
Дата

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
1 ОГЛЯД РІШЕНЬ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА .....	5
1.1 Основні поняття.....	5
1.2 Екологічний моніторинг.....	13
1.3 Метеостанції Atomic .....	16
1.4 Монітор якості повітря IQAir AirVisual Pro.....	18
1.5 Базова станція для управління кліматичної технікою TION MAGICAIR .....	19
1.6 Висновки до першого розділу.....	21
2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ .....	22
2.1 Розробка структурної схеми пристрою.....	22
2.2 Розробка принципової схеми пристрою .....	24
2.2 Складання принципової схеми.....	39
2.3 Висновки до другого розділу .....	43
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ .....	44
3.1 Розробка алгоритму роботи пристрою .....	44
3.2 Розробка конструкції друкованої плати модуля збору.....	48
3.3 Розробка друкованої плати пристрою .....	48
3.4 Виготовлення друкованої плати.....	52
3.5 Висновки до третього розділу.....	55
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ .....	58
ДОДАТОК А Програмний код .....	62

КВРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Лукас О.В.		
Перевір.		Форкун І.В.		
Н. Контр.		Корецька Л.О.		
Затв.		Мартинюк В.В.		
Системи моніторингу параметрів навколишнього середовища Пояснювальна записка			Літ.	Лист
				2
			ХНУ, АКІТс-22-1	

## ВСТУП

Сьогодні прогрес у технології виробництва мікроконтролерів дозволяє мікросхемам містити вузли радіозв'язку на додаток до самого мікроконтролера. Мініатюризація техніки дозволяє розмістити, крім схем мікроконтролерів, навіть модулі, які організовують зв'язок за технологією WiFi.

Пристрої, зібрані на такій системі-на-кристалі, дозволяють створювати точки доступу для підключення до них зовнішніх термінальних пристроїв, таких як смартфони, ноутбуки, настільні комп'ютери, і виступати в ролі клієнтів, підключаючись до існуючих бездротових мереж WiFi в якості клієнтів.

Це дозволяє організувати оперативний доступ до показань датчиків різних фізичних величин із зовнішніх пристроїв або забезпечити передачу цих даних до віддалених сервісів зберігання даних (так звані «хмарні сервіси»).

На даний момент датчики переходять з розряду аналогових пристроїв на рівень інтегрованих цифрових модулів, які містять власне перетворювач «фізична величина-напруга». Потім отримана напруга перетворюється в цифровий код за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача, а інформація передається у форматі послідовної передачі даних на спеціальний приймальний пристрій, як правило, мікроконтролер, який виконує подальшу обробку виміряних і отриманих значень.

Все це спрощує, прискорює і здешевлює розробку нових приладів, що дозволяють вимірювати, накопичувати і використовувати набори значень фізичних величин, виміряних датчиками, і передавати їх необхідним споживачам.

У роботі була розроблена система моніторингу параметрів навколишнього середовища відповідно до технічних умов. Джерелами зібраних сигналів є датчики температури, вологості, вмісту CO<sub>2</sub> в повітрі та

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	3
		№ докум.	Підпис			

датчик освітленості, що працює в пороговому режимі: відстежується задане значення (уставка), і при його досягненні змінюється логічний стан.

Середовище програмування Arduino підходить для виконання завдання випускної кваліфікаційної роботи, оскільки воно вільно поширюється і дозволяє зосередитися на налагодженні апаратної частини системи моніторингу, не приділяючи зайвої уваги питанням програмування.

Результати вимірювань готові до передачі на HTML-сторінку, підготовлену Arduino, і доступні для подальшого використання.

Мета роботи - створення автономної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища (температури, вологості, рівня освітленості та концентрації CO<sub>2</sub>) на базі «системи-на-кристалі» ESP32 з можливістю бездротової передачі даних у локальну мережу та хмарні сервіси, що забезпечує збір, обробку, архівацію й віддалений доступ до вимірюваних значень у реальному часі.

Завдання роботи:

- аналіз існуючих рішень;
- проектування апаратної частини;
- розробка програмного забезпечення роботи пристрою;
- розробка друкованої плати дослідного зразка.

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			4

# 1 ОГЛЯД РІШЕНЬ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

## 1.1 Основні поняття

Моніторинг навколишнього середовища, екологічний моніторинг (англ. Environmental Monitoring, нім. Monitoring n der Umwelt (der Umgebung)) — комплексна науково-інформаційна система, яка регулярно, безперервно та довгостроково спостерігає, оцінює та прогнозує зміни стану навколишнього природного середовища з метою виявлення негативних змін і надання рекомендацій щодо усунення або пом'якшення цих змін.

Предметом екологічного моніторингу є характер організації та функціонування системи моніторингу, оцінки та прогнозування стану екосистем, їх елементів, біосфери та впливу на них природних і антропогенних факторів.

Від рівня та мети дослідження залежать об'єкти екологічного моніторингу, зокрема навколишнє середовище, елементи навколишнього середовища та джерела їх впливу, особливо атмосфера, підземні та поверхневі води, ґрунт, відходи, несприятливі природні процеси (зсуви, карст тощо) [1-5].

Основними завданнями екологічного моніторингу є: спостереження за станом біосфери, оцінка та прогнозування її стану, визначення масштабів впливу діяльності людини на навколишнє середовище, виявлення факторів і джерел впливу. Система екологічного моніторингу базується на наступних принципах:

- об'єктивність і достовірність;
- систематично стежити за станом навколишнього середовища;
- багат шаровість;
- узгодженість нормативно-методичного забезпечення;

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	5
		№ докум.	Підпис			

- узгодженість апаратного та програмного забезпечення;
- комплексність оцінки екологічної інформації;
- ефективність потоку інформації між різними частинами системи;
- відкрита інформація для громадськості.

Моніторинг навколишнього середовища виникає з міждисциплінарних галузей природничих наук, таких як екологія, біологія, географія та геологія.

Відповідно до стандарту можна виділити наступні види моніторингу:

Біоекологічний (санітарний) моніторинг передбачає спостереження за станом навколишнього природного середовища та його впливом на здоров'я людини з метою захисту здоров'я людини від несприятливих факторів;

- геоекологічний (геосистемний, природно-господарський) моніторинг — це спостереження за змінами природних екосистем і перетворенням їх у природні та техногенні системи, а також моделювання та прогнозування явищ, що змінюють природне середовище та погіршують середовище існування людей;

- моніторинг гірських порід – моніторинг геологічних умов середовища;
- біосферний (глобальний) моніторинг — спостереження природних процесів і явищ на рівні біосфери, глобальних змін шляхом з'ясування фонових показників природи;

- геофізичний моніторинг — система спостереження природних і штучних геофізичних полів і явищ, а також спостереження, аналіз і прогнозування забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами;

- кліматичний моніторинг — це спостереження за станом кліматичної системи (атмосфера-океан-літосфера-кріосфера-біота) та оцінка і прогноз можливих змін клімату;

- біомоніторинг — це використання живих організмів для контролю стану навколишнього середовища;

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			6

– супутниковий моніторинг використовує дистанційний (неінтрузивний) підхід і дозволяє відстежувати зміни за допомогою супутникових зображень, Зустрічається на поверхні Землі та в атмосфері.

Крім того, залежно від мети здійснюється загальний, кризовий та фоновий моніторинг:

Універсальний (стандартний) моніторинг навколишнього середовища поєднує найкращу кількість спостережуваних параметрів у різних точках у мережу інформації та технологій, що дозволяє приймати регулярні управлінські рішення на всіх рівнях на основі оцінок та прогнозів умов навколишнього середовища.

Оперативний (кризовий) екологічний моніторинг - це інтенсивне спостереження за природними об'єктами, джерелами антропогенного впливу, розташованими в зонах екологічної напруженості, зонах аварійності та зонах природних явищ із шкідливими екологічними наслідками, з метою своєчасного реагування на кризові та надзвичайні екологічні ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення нормальних умов для життєдіяльності та господарювання населення.

Фоновий (науковий) моніторинг навколишнього середовища — спеціалізовані високоточні спостереження за всіма компонентами навколишнього середовища, а також за природою, складом, кругообігом і переносом забруднюючих речовин, реакцією організмів на забруднення на рівні окремих популяцій, екосистем і біосфери в цілому.

Фоновий моніторинг здійснюється в природних і біосферних заповідниках, інших природоохоронних територіях і на базових станціях.

Параметри навколишнього середовища можна контролювати за допомогою зразків, отриманих вручну: температуру за допомогою термометра, вологість за допомогою гігromетра, тиск за допомогою барометра з пружиною діафрагми тощо. Крім досить високої інструментальної точності

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	7
		№ докум.	Підпис			

(залежно від використовуваного вимірювального приладу), характеристикою методів ручного відбору проб (іншими словами, вимірювання значень параметрів) є необхідність участі людини в процесі.

Однак, якщо використовувати електронні засоби контролю – електронні датчики – вимірювання можна автоматизувати та виконувати в потрібний час. Автоматичні або повністю автоматизовані вимірювання в електронній формі дозволяють легко обробляти отримані дані за допомогою комп'ютерної техніки та різних спеціалізованих програмних пакетів.

Крім того, дані моніторингу, отримані в електронному вигляді, можна легко архівувати, зберігати та класифікувати, а також використовувати в різних базах даних і різних процесах.

Основними контрольними параметрами, які використовуються для контролю навколишнього середовища в повсякденному житті і навіть на промислових об'єктах, традиційно були температура навколишнього повітря, вологість і вміст вуглекислого газу в повітрі в приміщенні. Крім того, для автоматизації процесу освітлення використовуються різні види світлових датчиків.

На ринку є багато продуктів, які включають вимірювання та індикацію, а в деяких випадках накопичення та зберігання, а також передачу до віддаленого центру зберігання. Або параметри середовища процесу.

Такі апаратні рішення на споживчому ринку називають метеостанціями.

Як правило, метеостанція містить датчик температури для вимірювання температури в приміщенні та на вулиці, а також датчики вологості та тиску за допомогою бездротового модуля, який зв'язується з базовою станцією.

Традиційно дані відображаються на трансфлективному рідкокристалічному дисплеї, який працює за рахунок відбиття світла, або на активному рідкокристалічному дисплеї.

Однак такі метеостанції зазвичай не дозволяють отримати доступ до інформації за допомогою певних типів комп'ютерних термінальних пристроїв

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	8
		№ докум.	Підпис			

(смартфонів, ноутбуків чи ПК). Крім того, інформація з таких метеостанцій не може накопичуватися на термінальних пристроях, не кажучи вже про хмарні сервіси.

Екологічний моніторинг та його види. Екологічний моніторинг необхідно організовувати з метою усунення негативних наслідків антропогенного втручання в навколишнє середовище, поліпшення екологічної обстановки, впровадження методів оптимізації природокористування, отримання достатньої кількості продукції з збереженням навколишнього середовища.

Моніторинг – це комплексна система спостереження, збору, обробки, систематизації та аналізу інформації про стан навколишнього середовища з метою оцінки та прогнозування змін стану навколишнього середовища та надання обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

Національна система моніторингу довкілля базується на таких принципах:

- об'єктивність і достовірність;
- проводити систематичні спостереження за станом навколишнього середовища та об'єктами, на які вони впливають;
- багат шаровість;
- узгодженість нормативно-методичного забезпечення;
- узгодженість апаратного та програмного забезпечення;
- комплексність оцінки екологічної інформації;
- оперативність інформаційного потоку між різними ланками системи та своєчасне інформування органів державного управління;
- розкривати екологічну інформацію громадськості.

Практична значущість і актуальність вирішення проблеми моніторингових досліджень полягає в тому, що хоча в системі спостережень за станом довкілля є багато секторів, вони не об'єднані в єдиний комплекс і не

можуть ефективно виконувати функцію узагальнення оцінки стану та рівня використання ресурсів, щоб прогнозувати зміни та давати рекомендації для прийняття управлінських рішень щодо оптимізації господарської діяльності та природокористування в різних регіонах.

Основними завданнями екологічного моніторингу є:

- організувати єдину державну систему управління компонентами навколишнього природного середовища;
- створення автоматизованої системи (бази даних) збору, обробки, узагальнення та зберігання інформації про кількість і стан природних ресурсів;
- оцінка природно-ресурсного потенціалу та можливих рівнів використання ресурсів;
- інвентаризація джерел забруднення та дослідження масштабів впливу діяльності людини на компоненти навколишнього природного середовища;
- моделювання та прогнозування змін екологічного стану та рівнів здоров'я навколишнього середовища;
- розробляти управлінські рішення, спрямовані на забезпечення раціонального природокористування та сталого розвитку регіону.

Залежно від мети проводять загальний (стандартний), оперативний (кризовий) і фоновий (науковий) екологічний моніторинг.

Універсальний (стандартний) моніторинг навколишнього середовища поєднує найкращу кількість спостережуваних параметрів у різних точках у мережу інформації та технологій, що дозволяє приймати регулярні управлінські рішення на всіх рівнях на основі оцінок та прогнозів умов навколишнього середовища [1-5].

Оперативний (кризовий) моніторинг довкілля – це спостереження в режимі реального часу за спеціальними показниками окремих об'єктів у мережі цільових точок, джерел підвищених екологічних ризиків на окремих територіях (визначених як зони надзвичайної екологічної ситуації), а також

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	10
		№ докум.	Підпис			

зонах аварій із шкідливими екологічними наслідками з метою оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їх усунення, а також створення безпечних умов для населення.

Фоновий (науковий) моніторинг навколишнього середовища — спеціалізовані високоточні спостереження за всіма компонентами навколишнього середовища, а також за природою, складом, кругообігом і переносом забруднюючих речовин, реакцією організмів на забруднення на рівні окремих популяцій, екосистем і біосфери в цілому. Моніторинг ведеться в природних і біосферних заповідниках, інших заповідних територіях і на базових станціях.

Комплекс екологічного моніторингу включає геосферну, геохімічну та біологічну підсистеми.

Геосферний моніторинг. Він передбачає оцінку сучасного стану та прогноз змін у літосфері (геологічне середовище, мінерально-сировинні ресурси), геофізичній сфері (гравітаційна, магнетизм, радіаційна, сейсмічна та інші сфери), геоморфосфері (рельєф та його порушення геодинамічними процесами – зсувами, ерозією, карстом, затопленням, обвалами тощо), гідросфері (водні ресурси, водоспоживання та водовідведення, несприятливі гідрологічні умови). явища, рівні забруднення поверхневих і підземних вод), атмосфера (стан атмосферних басейнів та їх забруднення, транскордонне перенесення, розподіл тепла і вологи, зміни клімату).

Геохімічний моніторинг. Він включає дослідження та інвентаризацію джерел забруднення, визначення викидів, вивчення хімічного складу повітря, опадів, ґрунту, наземної та водної рослинності, поверхневих і підземних вод, донних відкладень. Це також передбачає встановлення «градієнта опадів» — кількості різноманітних матеріалів, які надходять на поверхню Землі з опадами та пилом.

Біологічний моніторинг. Він базується на вивченні стану рослинності (фітосфери), зокрема візуальних симптомів пошкодження листя (дефоліація,

дехроматизація), розвитку епіфітних лишайників на деревах, динаміки змін видів рослин і структури рослинних угруповань (сукцесія, деградація, омолодження) під впливом природних і антропогенних факторів.

У 1985 році Європейська економічна комісія ООН вирішила створити міжнародну спільну програму в рамках Конвенції про транскордонне забруднення повітря для оцінки впливу забруднення на біосферу. Програма заснована на моніторингу лісів і проводиться в 24 країнах Європи, а також у США та Канаді.

У вузькому розумінні вона розглядається як комплексна система постійного спостереження за станом лісових екосистем і факторами, що на них впливають (переважно технічні). Найбільш повно концепція розроблена Міжнародною спільною програмою моніторингу лісів, яка реалізується в рамках Конвенції ООН про забруднення повітря на великій відстані.

Моніторинг лісів у широкому сенсі включає оцінку впливу на ліси, включаючи пожежі, рекреаційні наслідки шкідників, хвороби дерев і промислове використання лісів, на додаток до забруднення повітря. У цьому сенсі моніторинг відіграє важливу роль у контролі та управлінні лісовими ресурсами. Об'єднання цих регіонів в одну систему дозволяє більш комплексно оцінити стан лісів як біологічної складової біосфери та відновлюваного природного ресурсу. Біосферний простір також дає комплексну оцінку стану педосфери (земельні ресурси, динаміка землекористування, структура земель, ерозія та забруднення ґрунтів, екологічні наслідки меліорації, використання добрив і пестицидів) і фауністичної сфери (тваринний світ, рибні запаси, мікробні угруповання в ґрунті тощо).

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			12

## 1.2 Екологічний моніторинг

Цей моніторинг здійснюється на чотирьох рівнях:

Місцеві - в межах території окремих об'єктів (підприємств), міст і ландшафтних зон. Ефективно контролювати забруднення повітря в містах з населенням менше 100 тис. Рекомендується щонайменше три особи персоналу диспетчерської станції; від 100 000 до 300 000 - не менше 5, починаючи з 300 000. Населені пункти з населенням понад 500 тис. мають 7 балів, а населені пункти з населенням понад 1 млн – 11-24 бали. Системи промислового екологічного моніторингу контролюють викиди промислових підприємств і ступінь забруднення промислових майданчиків і прилеглих територій;

Регіон - у межах адміністративно-регіональної одиниці, в межах території економічного та природного району. Він в основному отримує дані про забруднення повітря та води від міських і промислових станцій моніторингу;

Національний - на всій території країни моніторинг передбачає статистичну обробку та аналіз даних про забруднення навколишнього середовища від регіональних систем, штучних супутників Землі та космічних орбітальних станцій. У співпраці з гідрометеорологічним відділом Держгідромету України прогнозують якість навколишнього середовища на великих територіях країни;

Глобальна – глобальна система моніторингу навколишнього середовища для досліджень і охорони природи, яка реалізується згідно з міжнародними угодами в цій галузі. Багато країн мають мережі наземних станцій, які постійно відбирають і аналізують проби для виявлення забруднюючих речовин, вуглекислого газу, чадного газу, пилу, свинцю, радіонуклідів тощо в атмосфері.

З метою підтримки фонових рівнів якості навколишнього середовища як основи для визначення рівня антропогенного впливу на атмосферу створено

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	13
		№ докум.	Підпис			

мережу біосферних заповідників. Він охоплює всі основні типи природних зон.

Однією з основних умов проведення моніторингових досліджень та отримання об'єктивної інформації є визначення меж його об'єкта. У складних географічних умовах основною просторовою одиницею рекомендується вважати територію водозабору (басейну). Просторова структура моніторингу навколишнього природного середовища в області базується на мережі основних і додаткових постійних пунктів спостереження (ПОЗ). Основні ДПП розташовані на території площею 60-16 км<sup>2</sup>, утворюючи регіональну мережу моніторингу та підключені до європейської мережі ДПП. Кількість таких пунктів для кожного регіону визначається виходячи з розміру його території.

У містах та для організації локального моніторингу промислових підприємств, які викидають в атмосферу значні обсяги забруднюючих речовин, налагоджується все більше державно-приватного партнерства, наприклад, в Івано-Франківській області (Бурштинська ДРЕС, Калуська ТЕЦ, АТ «Оріана», АТ «Прикарпаття», компанія «Барва»). Додаткові ППП були розміщені в межах основних річкових водозборів, вздовж екологічних профілів (трансект) річкових долин, біля витoku (до 10 км), вище за течією (10–20 км), посередині (25–50 км) і вниз за течією (50–100 км) Водозбірна площа частково розташована на таких топографічних об'єктах: вододіл, схил, надзаплавна тераса, заплава. У зоні впливу промислових підприємств встановлюються додаткові локальні станції моніторингу по мережі 2'2 км або 1'1 км з урахуванням зон забруднення і «рози вітрів» [6-10].

У кожній точці спостереження визначається частота дослідження показника за ступенем його варіації. Перший комплекс показників досліджується не рідше трьох разів на місяць: хімічний склад повітря і опадів, кислотність дощу і снігу. Друга група (показники безперервної зміни) - з періодом 2-5 років: 1) кількість опадів і підстилки; 2) видовий склад і якість трав; 3) видовий склад і якість мохів і лишайників на деревах; 4) інтенсивність

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	14
		№ докум.	Підпис			

опадання та дехромізації листя; 5) кислотність ґрунту; 6) хімічний склад поверхневих і підземних вод. 3 група - 5-10-річний цикл: 1) потужність верхнього шару ґрунту та вміст гумусу; 2) фізичні параметри ґрунту; 3) вміст шкідливих речовин у ґрунті та рослинах; 4) наявність шкідників і хвороб; 5) продуктивність рослинних угруповань; 6) структура земель і пропорції вододілу.

Основою роботи з автоматизованого моніторингу довкілля є автоматизована система моніторингу довкілля для професійних станцій аналізу – АСКНС.

Значний обсяг робіт у сфері моніторингу навколишнього середовища в основному виконують пересувні лабораторії (МЛ), які відповідають за збір, обробку, накопичення та зберігання інформації про параметри навколишнього середовища, а саме: атмосферу, ґрунт та продукти харчування. Ця лабораторія на базі автобуса ЛАЗ-699Р дозволяє значно знизити витрати порівняно зі стаціонарними системами керування в режимі екологічного патрулювання.

Вимірювальний комплекс ПЕЛ дозволяє контролювати:

- забруднення атмосфери оксидами вуглецю, азоту, сірки і продуктами розпаду радону;
- концентрація токсичних газів в атмосфері (понад 15 видів);
- використовувати атомно-абсорбційний експрес-метод для визначення концентрації шкідливих елементів у ґрунті, воді та харчових продуктах;
- різні види потоку радіоактивного випромінювання, еквівалентна доза, потужність еквівалентної дози;
- рівні шуму та параметри вібрації;
- щільність потоку електромагнітного випромінювання НВЧ та ін.

Пересувні лабораторії промислових викидів надають важливу допомогу в проведенні моніторингових спостережень. Ці лабораторії покладаються на

відповідні транспортні засоби, обладнані обладнанням для моніторингу загальних викидів і масових концентрацій основних забруднювачів повітря.

У сфері моніторингу антропогенного забруднення навколишнього середовища та технологічного контролю виробничих процесів існує велика різноманітність обладнання, яке допомагає оптимально організувати системи моніторингу на всіх рівнях на базі локальних комп'ютерних мереж. У деяких регіонах України впроваджено дворівневу технічну систему збору, обробки, зберігання та аналізу інформації. Це дозволяє чітко розподілити обов'язки між різними підрозділами, оптимально використовувати технічні засоби та своєчасно збирати необхідну інформацію.

Система первинного моніторингу відповідає за вимірювання, реєстрацію та попереднє накопичення даних моніторингу довкілля. Другим і вищим рівнем системи моніторингу є програмний комплекс на центральному комп'ютері.

Цілі цих систем такі:

- збирати інформацію про моніторинг роботи з робочих станцій;
- інтерактивний режим введення та ведення баз даних за всіма видами та напрямками радіаційного контролю;
- інтеграція всіх даних на регіональному рівні та обробка, аналіз та узагальнення наявної інформації.

### 1.3 Метеостанції Atomic

Метеостанція Atomic W839007- В може виконувати в основному такі операції [1] (рисунок 1.1):

- вимірювання температури навколишнього середовища за допомогою бездротових датчиків температури через радіоканали.



З іншого боку, це не дозволяє виробнику використовувати додаткові обчислювальні ресурси центрального процесора метеостанції та розширювати функціональний склад пристрою відповідно до ринкових умов.

Іншим варіантом приладів, що вимірюють параметри навколишнього середовища, є пристрій з більш потужним центральним процесором, яким зазвичай є «система на чіпі». Такі пристрої характеризуються РК-дисплеєм (як правило, кольоровим), бездротовим інтерфейсом із загальноприйнятими стандартами Bluetooth або Wi-Fi і можливістю підключення до них через бездротові інтерфейси різних кінцевих пристроїв для зчитування інформації: смартфонів, ноутбуків і настільних комп'ютерів. Деякі з цих пристроїв є частиною екосистеми спеціальних кліматичних пристроїв від одного виробника.

Розглянемо деякі варіанти, які зараз є на ринку.

#### 1.4 Монітор якості повітря IQAir AirVisual Pro

Монітор якості повітря IQAir AirVisual Pro — це продукт, виготовлений брендом IQAir (рисунок 1.2).

Пристрій має такі особливості:

- вимірювання вмісту вуглекислого газу в повітрі;
- вимірювання рівнів частинок PM<sub>2,5</sub> та PM<sub>10</sub> у повітрі;
- вимірювання відносної вологості повітря;
- вимірювання температури навколишнього повітря;
- використання у приміщенні і на вулиці;
- прогноз якості повітря на наступні 3 дні;
- підключення пристрою до хмарного сервісу для передачі інформації про параметри середовища;
- передавання інформації в соціальні мережі або авторизовані пристрої;
- зберігання історії вимірювань параметрів протягом 24 годин;

- виміряні значення зберігаються в хмарному сервісі до 3 років;
- якщо подібний пристрій знаходиться на відкритому повітрі поблизу домашнього пристрою - передавати параметри зовнішнього повітря на екран домашнього пристрою;
- кольоровий LCD екран з довжиною діагоналі 5 дюймів;
- може працювати від батарейок.



Рисунок 1.2 - Зовнішній вигляд монітора якості повітря IQAir AirVisual

### 1.5 Базова станція для управління кліматичної технікою TION MAGICAIR

Іншим прикладом пристрою, який може вимірювати параметри навколишнього середовища, є базова станція TION MAGICAIR, яка використовується для керування клімат-контролем. Зовнішній вигляд цього пристрою показано на рисунку 1.3.

Пристрій TION MAGICAIR дозволяє автоматично вимірювати температуру, вологість і вміст CO<sub>2</sub> в повітрі приміщення з періодичністю приблизно раз на хвилину. Результати вимірювань передаються в хмарний сервіс, що підтримується TION. Цей сервіс дозволяє архівувати перераховані параметри, тим самим збільшуючи інтервали між вимірюваннями в часі.

Користувачі пристрою можуть спостерігати зміни якості повітря в приміщенні на різних етапах часу в графічній формі.



Рисунок 1.3 - Зовнішній вигляд базовий станції для управління кліматичною технікою TION MAGICAIR

Крім того, апарат TION MAGICAIR є складовою системи, яку компанія випускає під брендом TION, до складу якої також входять так звані респіратори - пристрої для фільтрації та підігріву повітря, що всмоктується з вулиці або фільтрації повітря в приміщенні. Такі пристрої призначені для підтримки певних параметрів повітря в житлових або офісних приміщеннях і мають різні функції залежно від їх складності, від клапанів зовнішнього повітрязабірника до фільтрації повітря за допомогою систем фільтрації, включаючи фотокаталітичні та високоефективні фільтри HEPA. Крім того, до складу респіратора може входити також пристрій зволоження повітря.

Пристрій TION MAGICAIR є вимірювальним модулем системи і коли концентрація CO<sub>2</sub> перевищує певний рівень, видає команду на відкриття клапана подачі повітря та запуск вентилятора для подачі свіжого вуличного

повітря в приміщення. Водночас система фільтрації видаляє з вуличного повітря тверді частинки.

TION MAGICAIR не має екрана чи кнопок, і ним можна повністю керувати через сторінку браузера на смартфоні зі спеціальною програмою або на ПК. Інформація про результати вимірювань також доступна лише через додаток або сторінку пристрою.

Для коректної роботи модуля TION MAGICAIR необхідна локальна Wi-Fi мережа з доступом до глобальної мережі Інтернет. Інакше встановити, керувати та отримати інформацію про параметри навколишнього середовища неможливо [11-15].

#### 1.6 Висновки до першого розділу

Розглянуто три типи обладнання для вимірювання параметрів атмосферного повітря, які мають відношення до завдання випускної кваліфікаційної роботи:

- місцеві метеостанції вимірюють температуру, вологість і тиск і дозволяють мінімально локальне архівування та прості прогнози;

- обладнання для моніторингу параметрів навколишнього середовища, включаючи повне обладнання для вимірювання температури, вологості, тиску повітря, на додаток до концентрації вуглекислого газу та вмісту різних дрібних частинок PM2.5 або PM10.0 (дрібні частинки діаметром 2,5 мікрон або менше та дрібні частинки діаметром 10 мікрон або менше);

- прилади для вимірювання параметрів атмосферного повітря – це елементи системи управління якістю повітря, які мають доступ до хмарного сервісу виробника та контролюють вентиляційне, опалювальне та зволожувальне обладнання або їх комплекс.

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			21

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРИСТРОЮ

### 2.1 Розробка структурної схеми пристрою

Відповідно до завдання, розроблений прилад повинен вимірювати температуру повітря, відносну вологість і рівень CO<sub>2</sub> в приміщенні, де він розташований. Крім того, система моніторингу параметрів навколишнього середовища повинна мати можливість підключатися до точки доступу локальної мережі через бездротовий протокол Wi-Fi і згодом виходити в Інтернет.

Пристрій, що розробляється, живитиметься від акумуляторної батареї, тому необхідно передбачити знімний з батареї модуль стабілізації напруги та модуль зарядки батареї від зовнішнього джерела живлення. В даний час дуже популярні зарядні пристрої для мобільних телефонів з вихідною напругою +5В і вихідним інтерфейсом у вигляді USB.

У технічному завданні на кваліфікаційну роботу вказується тип використовуваного мікроконтролера – пристрою, який є серцевиною всієї системи. Це «система на чіпі» ESP32 виробництва Espressif Systems. Мікросхема містить усі необхідні модулі для організації роботи в якості точки доступу або клієнтського пристрою. Крім того, мікросхема, про яку піде мова нижче, містить оперативну пам'ять, певний обсяг флеш-пам'яті та інші типові компоненти мікроконтролера, що дозволяє не використовувати додаткові мікросхеми і обмежитися одним корпусом.

Щоб прив'язати показання датчика до певного моменту часу, рекомендується використовувати в системі модуль годинника реального часу (RTC).

У технічній специфікації зазначено, що освітленість вимірюється не в абсолютних величинах, а з посиланням на певний рівень, наприклад, порогове значення. При цьому при досягненні порогу формується керуючий сигнал на

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	22
		№ докум.	Підпис			

додатковий пристрій керування. Ми припускаємо, що достатньо встановити сигнал HIGH на одних виводах мікроконтролера при досягненні значення тригера, а на інших - LOW.

Усі перелічені функції будуть реалізовані за допомогою відповідних блоків пристрою, як показано на блок-схемі пристрою, як показано на рисунку 2.1.

Крім підключень, показаних на рисунку, слід зазначити, що крім мікроконтролера може знадобитися напруга живлення для забезпечення працездатності датчика фізичної величини [16-18].

Структурна схема системи моніторингу параметрів приміщення показано на рисунку 2.1.

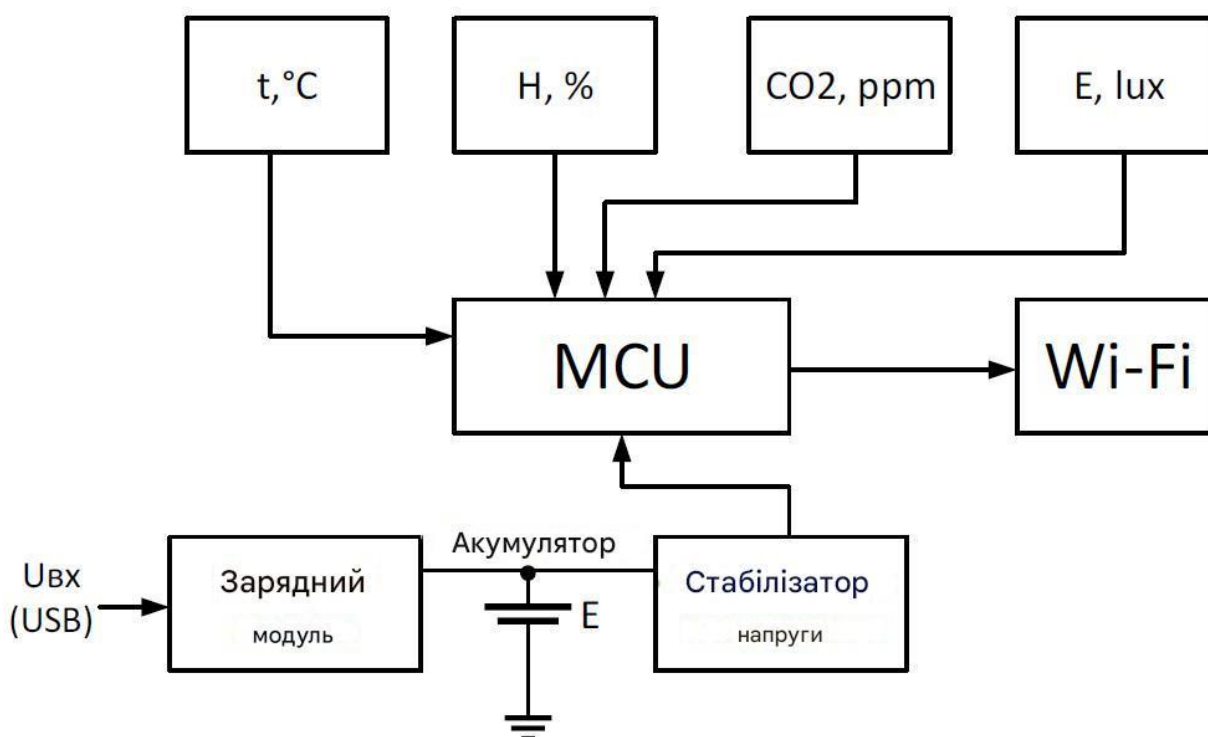


Рисунок 2.1. - Структурна схема системи моніторингу параметрів приміщення

## 2.2 Розробка принципової схеми пристрої

### Опис центрального процесора системи

Згідно завданням, пристрій повинен бути побудований на основі мікроконтролера (системи на кристалі) ESP 32 фірми Espressif Systems. Мікросхема Espressif Systems ESP32 — це однокристальна система-на-чипі, яка включає такі модулі:

– 32-розрядний двоядерний процесор з тактовою частотою 160 або 240 МГц, з 512 Кбайт статичної оперативної пам'яті, 448 Кбайт постійної пам'яті та флеш-пам'яті об'ємом 1, 2, 4, ... 64 МБ;

– модулі, що забезпечують бездротовий зв'язок: WiFi, що працює за стандартами 802.11 b/g/n/e/i зі швидкістю з'єднання до 150 Мбіт/с, і модуль Bluetooth зі стандартом v4.2 BR/EDR і працює в режимі BLE.

Мікросхема містить такі периферійні інтерфейси:

- до 18 каналів 12-розрядних аналого-цифрових перетворювачів,
- 2 8-розрядних ЦАП,
- можливість підключення 10 сенсорних датчиків,
- вбудований датчик температури,
- 4 порти SPI,
- 2 порти I2C,
- 3 апаратних послідовних асинхронних порти,
- можливість апаратної підтримки карт SD/eMMC/SDIO,
- апаратна реалізація ШІМ контролера для керування електродвигуном,
- апаратна реалізація ШІМ контролера для управління світлодіодами,
- датчик Холла,
- аналоговий підсилювач малої потужності.

При роботі з чіпом на апаратному рівні підтримуються наступні протоколи безпеки (шифрування і кодування):

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			24

- специфікації IEEE 802.11 WFA, WPA/WPA2 і WAPI,
  - кодування інформації у флеш-пам'ять,
  - використання алгоритми шифрування RSA, ECC, RNG, AES, SHA-2.
- Розташування виводів мікросхеми показано на рисунку 2.2.

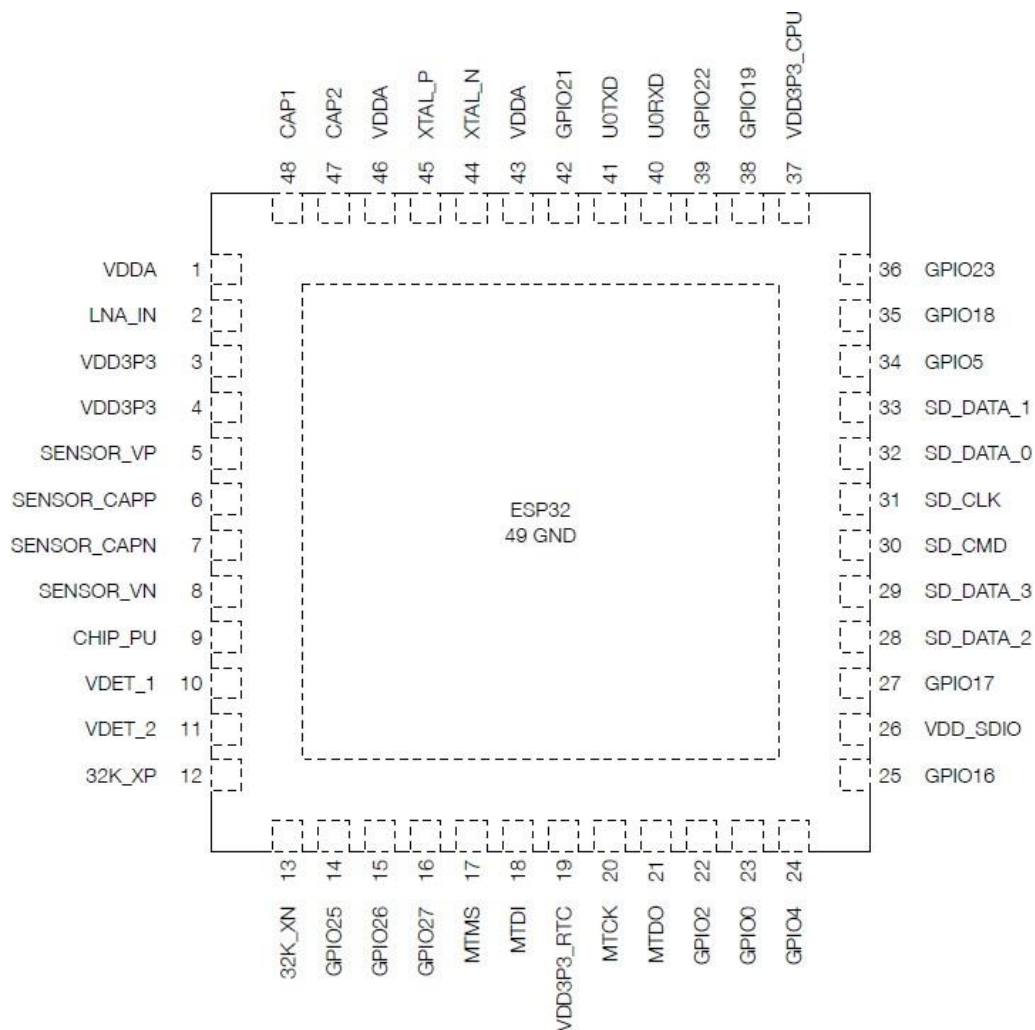


Рисунок 2.2 - Розташування виводів мікросхеми ESP32

Мікросхема живиться від джерела напруги 3,3В і має струм споживання до 500мА. Блок-схема мікросхеми ESP32 показана на рисунку 2.3.

Блок-схема показує основні модулі мікроконтролерів, які можна використовувати для проекту. Для вирішення завдань, зазначених у ТУ, необхідний модуль WiFi для зв'язку із зовнішніми пристроями та мережею



виготовляються шляхом покриття керамічної підкладки речовиною, яка діє як мембрана для вуглекислого газу, дозволяючи йому потрапляти лише в активну зону, де відбувається реакція електролізу. Завдяки цій реакції опір датчика змінюється, і за зміною падіння напруги на датчику можна зробити висновки про концентрацію CO<sub>2</sub> в повітрі.

Особливістю цього типу датчика є те, що активний матеріал потрібно нагріти, щоб відбулася електрохімічна реакція. Нагрівання здійснюється шляхом живлення всього блоку шляхом пропускання електричного струму через керамічну структуру, яка в цьому випадку по суті діє як резистор, який нагрівається, коли через нього протікає струм.

На ринку є кілька моделей цих датчиків, які мають дещо різні ціни, але загалом в одному ціновому діапазоні. Розглянемо кілька моделей таких датчиків [19].

Зовнішній вигляд датчика MG812 виробництва China Vinson Electronics Company показаний на рисунку 2.4, і він має такі особливості:



Рисунок 2.4 - Зовнішній вигляд датчика MG812

Діапазон вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> становить 0...10000 ppm. Тип вихідного сигналу - це напруга і змінюється лінійно.





Оскільки найвища інтенсивність випромінювання знаходиться в межах інфрачервоного діапазону, як джерело інфрачервоного світла можна використовувати або світлодіод у режимі недогрітого світіння, або нитку розжарювання. При використанні світлодіодів режим роботи може бути включений на короткий проміжок часу, що дає економічне рішення щодо споживання енергії. Однак випромінювання від світлодіодів відбувається в дуже вузькому спектральному діапазоні, тому при розрахунку фактичної кількості CO<sub>2</sub> в повітрі можуть виникнути деякі помилки.

При використанні лампи розжарювання як джерела світла ширина спектру випромінювання значно ширша, що дозволяє точніше вимірювати концентрацію CO<sub>2</sub>; однак датчикам, створеним з використанням цього джерела світла, потрібно більше часу, щоб увійти в робочий режим, оскільки їм потрібно попередньо нагріти нитку розжарювання, щоб розпочати правильні вимірювання. Крім того, робота натяжних проводів споживає велику кількість електроенергії, що обмежує використання таких датчиків в автономних додатках або значно зменшує ресурси автономної роботи всього пристрою.

У той же час для датчиків з лініями натягу реалізувати алгоритм складніше. Енергоефективність датчика CO<sub>2</sub> підвищується, оскільки джерело інфрачервоного випромінювання включається на короткий час, а потім вимикається протягом інтервалу вимірювання. Реалізація цього алгоритму дуже проста в датчиках, що використовують інфрачервоні світлодіоди.

Окрім джерела інфрачервоного випромінювання та приймача, до складу датчика CO<sub>2</sub> також входить мікроконтролер для обробки результатів вимірювань, проведення регулярного автоматичного калібрування датчика та організації інтерфейсу для взаємодії із зовнішніми пристроями, що здійснюють вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>.

Найбільш поширеною моделлю датчика CO<sub>2</sub> з технологією NDIR є датчик MH-Z19B виробництва Winsen. Його зовнішній вигляд показано на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 - Зовнішній вигляд датчика MH- Z19B

Датчик може вимірювати концентрацію вуглекислого газу в повітрі, вимірювати температуру повітря і має такі технічні особливості:

- напруга живлення: 4,5...5,5 В постійного струму.
- середнє споживання струму: менше 60 мА. Піковий струм споживання: 150 мА.
- напруга інтерфейсу зв'язку: 3,3 В.
- вихідний інтерфейс витримує взаємодію з 5-рівневою TTL логікою
- вихідний інтерфейс: UART (TTL, 3.3V), PWM, аналоговий сигнал. Час попереднього нагріву: 3 хвилини.
- діапазон робочих температур: 0 ... 50 °С Діапазон робочої вологості: 0 ... 90% Розміри: 33 мм x 20 мм x 9 мм

З опису зрозуміло, що існує багато способів підключення датчиків до дротових пристроїв.

Можна використовувати як апаратну, так і програмну реалізацію для підключення до послідовного порту UART, а датчик дозволяє контролювати режим роботи, діапазон вимірювання та виконувати режим автокалібрування.

Крім того, сигнал, пропорційний концентрації CO<sub>2</sub> в навколишньому повітрі, може бути записаний в аналоговій формі та далі оброблений за допомогою аналогових пристроїв (операційних підсилювачів, компараторів тощо). Крім того, на виході ШІМ можна скинути прямокутний сигнал, тривалість якого пропорційна рівню CO<sub>2</sub>, і ці імпульси будуть поширюватися з однаковою частотою.

Отже, можна зробити висновок, що датчик MH-Z19B є досить універсальним пристроєм, який може отримувати вихідні дані в різних режимах для різних цілей [20-24].

Обрано датчик MH-Z19B як датчик концентрації, тому що він більш точний, відображає надійну інформацію про CO<sub>2</sub> та дозволяє пряме підключення до мікроконтролера. Символ датчика MH-Z19B показаний на рисунку 2.8.

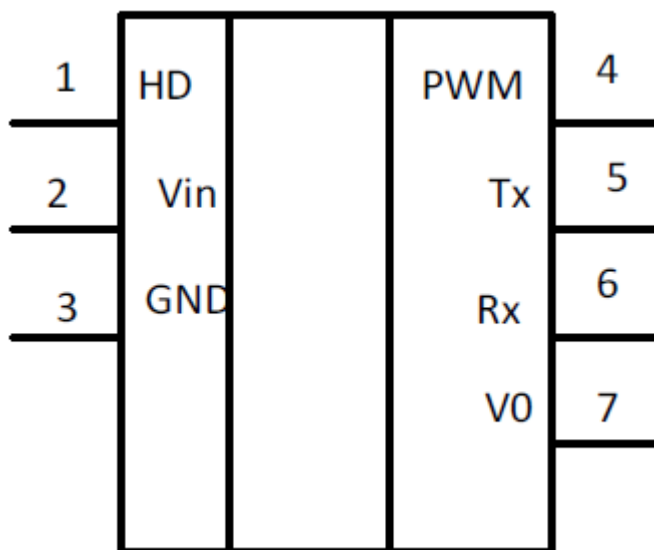


Рисунок 2.8 - Умовне графічне позначення датчика CO<sub>2</sub> MH-Z19b

Розглянемо основні типи датчиків вологості і виходячи з цього виберемо тип і модель датчика для нашого пристрою.

Датчики вологості (гігрометри) бувають наступних типів:

- ємнісні датчики;
- резистивні датчики;
- термісторний датчик;
- оптичний датчик.

Розглянемо основні характеристики перерахованих типів датчиків.

Принцип дії ємнісних датчиків заснований на тому, що ємність повітряного конденсатора змінюється зі зміною вологості повітря (рисунок 2.9).



Рисунок 2.9 - Структура ємнісного типу датчика вологості з повітряним діелектриком

Недоліком використання повітряного прошарку є те, що в цьому випадку підвищується чутливість до інших домішок у повітрі. Тому більш точними є ємнісні датчики з вологочутливим діелектриком. Отриманий таким чином конденсатор із провідної пластини та вологочутливого діелектрика підключається до коливального контуру, і відхилення від робочої частоти визначає ємність цього конденсатора і, таким чином, значення вологості повітря. Вузким місцем цього методу вимірювання вологості є те, що точність вимірювання різко падає при вологості нижче 0,5%; крім того, діелектричний матеріал не повинен містити домішок з високою магнітною проникністю, оскільки ці домішки впливатимуть на його діелектричні властивості, а отже, на якість вимірювання.

На додаток до перелічених варіантів повітряного та твердого діелектриків, існує третій варіант, який полягає у створенні ємнісного датчика на основі тонкоплівкового ізоляційного матеріалу з поверхневим покриттям, конструкція якого показана на рисунку 2.10.

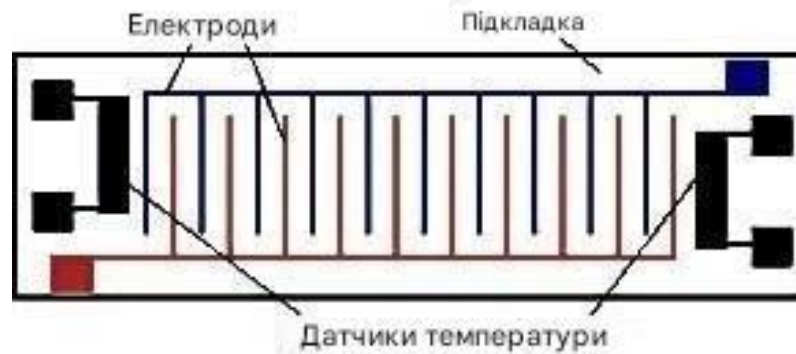


Рисунок 2.10 - Структура ємнісного поверхневого датчика вологості

На рисунку видно, що в датчик вологості вбудовано два датчики температури для подальшої термокомпенсації показань датчика вологості.

Резистивні датчики вологості складаються з двох електродів (рисунок 2.11), нанесених на електроізоляційний матеріал, який служить підкладкою. Електроди покриті струмопровідним матеріалом, чутливим до вологості в навколишньому просторі. В даний час найбільш широко використовуваним матеріалом є глинозем. Основною перевагою даного датчика є його низька вартість.

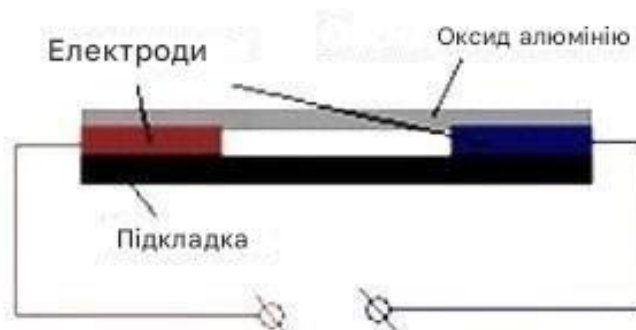


Рисунок 2.11 – Структура резистивного датчика вологості. Іншим типом датчиків вологості є термісторний датчик

Цей датчик використовує два термістора, один з яких розташований у герметичному корпусі, що містить сухе повітря; структура датчика цього типу показана на рисунку 2.12.

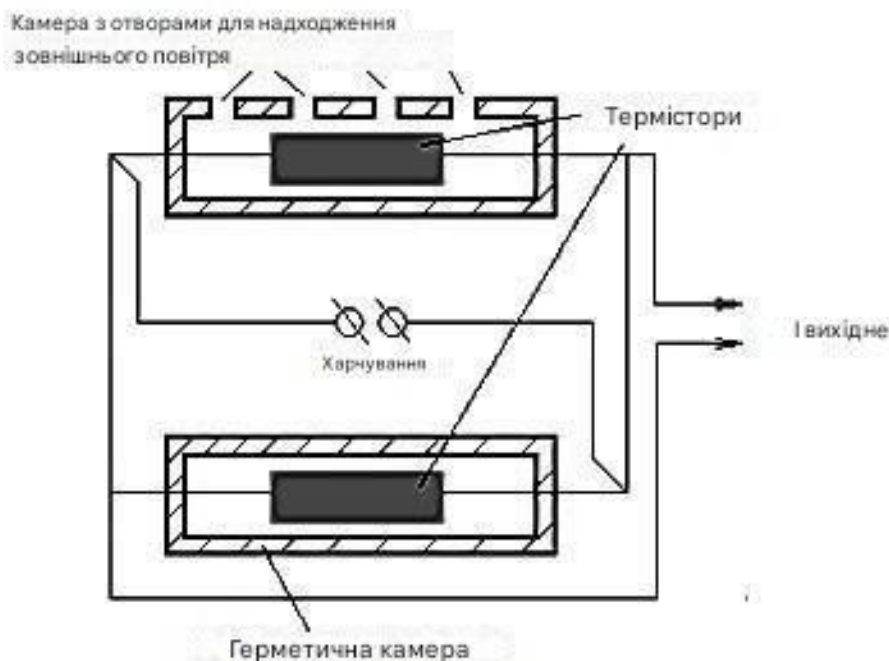


Рисунок 2.12 – Структура датчика вологості термісторного типу

Вологе повітря надходить через отвори у верхній камері термістора. Пара герметичних терморезисторів відкритого корпусу розташована по діагоналі моста, до якого підключається напруга живлення. Під дією цієї напруги терморезистор нагрівається. Якщо два термістора помістити в однакові умови, вони нагріватимуться однаково, але один із термісторів знаходиться в герметичному корпусі в сухому середовищі, а інший у повітряному середовищі, яке містить вологу. Ця волога періодично випаровується з термістора і охолоджує його. Його температура падає і відповідно змінюється його опір, що руйнує рівновагу моста і викликає напругу, пропорційну вологості повітря, на другому діагональному вході моста. Ця напруга є вимірним значенням датчика вологості.

Оптичний датчик вологості.

У цьому типі датчика основними компонентами є джерело світла (світлодіод), дзеркало, яке нагрівається або охолоджується за допомогою електричного струму, і датчик температури, встановлений на його поверхні. Промінь від світлодіода падає на дзеркало і більш-менш розсіюється в залежності від ступеня конденсації на поверхні дзеркала. Відбиваючись від дзеркала, світло потрапляє на фотодетектор, наприклад фототранзистор. Тому, знаючи температуру, при якій волога з повітря починає осідати на дзеркало, і отримуючи інформацію від фотодетектора про кількість отриманого світла, а також знаючи атмосферний тиск, можна визначити рівень вологості за цих умов.

Цей датчик має найвищу точність порівняно з іншими типами датчиків, але також має найвищу вартість порівняно з іншими типами датчиків і потребує технічного обслуговування системи, наприклад утримання в чистоті дзеркал, фотоелектричних передавачів і фотоелектричних приймачів.

На практиці при створенні мікроконтролерних пристроїв найбільшого поширення набули ємнісні датчики вологості на основі тонкоплівкових діелектриків, чутливих до вологості повітря.

Цей датчик має вбудовану електронну схему, яка генерує набір імпульсів, параметри яких пропорційні температурі та вологості навколишнього середовища. Типовими прикладами такого типу датчиків є датчики DHT22 або AM2302. Зовнішній вигляд датчика показано на рисунку 2.13, а фізичні розміри та номери контактів – на рисунку 2.14.

Відповідно до нумерації контактів, показаної на рисунку 2.14, їх використання наступне:

- напруга живлення VCC,
- виведення даних DATA,
- невикористані виходи,
- загальний термінал GND.



Вимірний діапазон відносної вологості становить 0%...100%. Точність вимірювання вологості від 2% до 5%. Діапазон вимірювання температури: -40°C...+80°C. Точність вимірювання температури:  $\pm 0,5$  °C. Максимальна частота вимірювання становить 0,5 Гц. Відстань між штифтами 2,54 мм. Роздільна здатність вихідного слова становить 16 біт.

Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу функціональні можливості датчика освітленості зводилися до визначення порогу зміни рівня освітленості для перемикання зовнішнього пристрою, наприклад, реле керування освітленням. Тому вимоги до точності цього датчика досить прості. Він повинен бути досить дешевим, реагувати на світло і дозволяти будувати керовані системи на основі світла.

Зазвичай в якості таких датчиків використовуються фоторезистори, оскільки вони недорогі і можуть використовуватися в автономних рішеннях. Зовнішній вигляд фоторезистора в типовому корпусі показано на рисунку 2.15.



Рисунок 2.15 - Зовнішній вигляд фоторезистора

Як правило, фоторезистор під'єднується до одного плеча дільника напруги, а резистор – до іншого плеча. Таким чином, значення напруги, яке змінюється відповідно до освітленості фоторезистора, можна записати, а потім обробити на мікроконтролері, і на основі значення цієї напруги можна прийняти певні рішення в програмі мікроконтролера [25-28].

## 2.2 Складання принципової схеми

Таким чином, за результатами проведених перевірок обрано основні елементи схеми приладу моніторингу параметрів внутрішнього середовища згідно отриманих завдань на остаточний проект і можемо переходити до креслення принципової схеми.

Крім перерахованих датчиків, пристрій буде містити мікросхему реального часу DS1302 для зняття показань датчиків через задані проміжки часу та збереження часових точок (ГОДИНИ: ХВИЛИНИ: СЕК.ХМ.ХМ.ГОДИНИ) через мікроконтролер. Щоб мікросхема працювала, до неї потрібно підключити кварцовий резонатор з частотою 32,768 кГц.

Щоб зберегти дані вимірювань, окрім надсилання їх до мережевої служби Інтернету, ми будемо використовувати адаптер картки Catalex MicroSD v1/0, модуль SD-картки. Це дозволить використовувати SD-карту для зберігання даних і при необхідності перенести цю карту на необхідний пристрій: комп'ютер, ноутбук.

Весь пристрій буде живитися від двох металогідридних батарей, з'єднаних послідовно, кожна з номінальною напругою 1,2 В.

Для перетворення напруги в рівні потужності для всіх мікросхем і модулів нашого пристрою будемо використовувати підвищувальний стабілізатор напруги на основі мікросхеми BL8530. Мікросхема являє собою імпульсний підвищувальний регулятор зі споживанням струму спокою до 7 мкА, спеціально розроблений для перетворення напруги металогідридних акумуляторів.

Схема на основі цього стабілізатора показана на рисунку 2.16.

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	39
		№ докум.	Підпис			





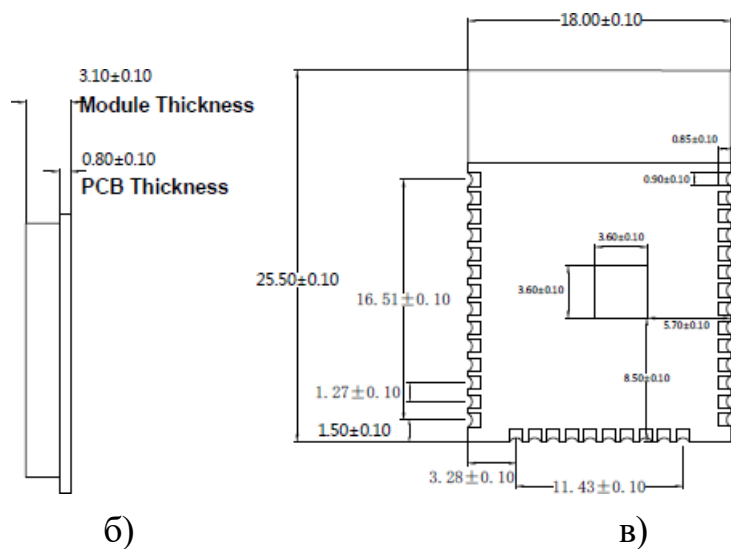


Рисунок 2.18 – Фізичні розміри модуля ESP32-WROOM-32D

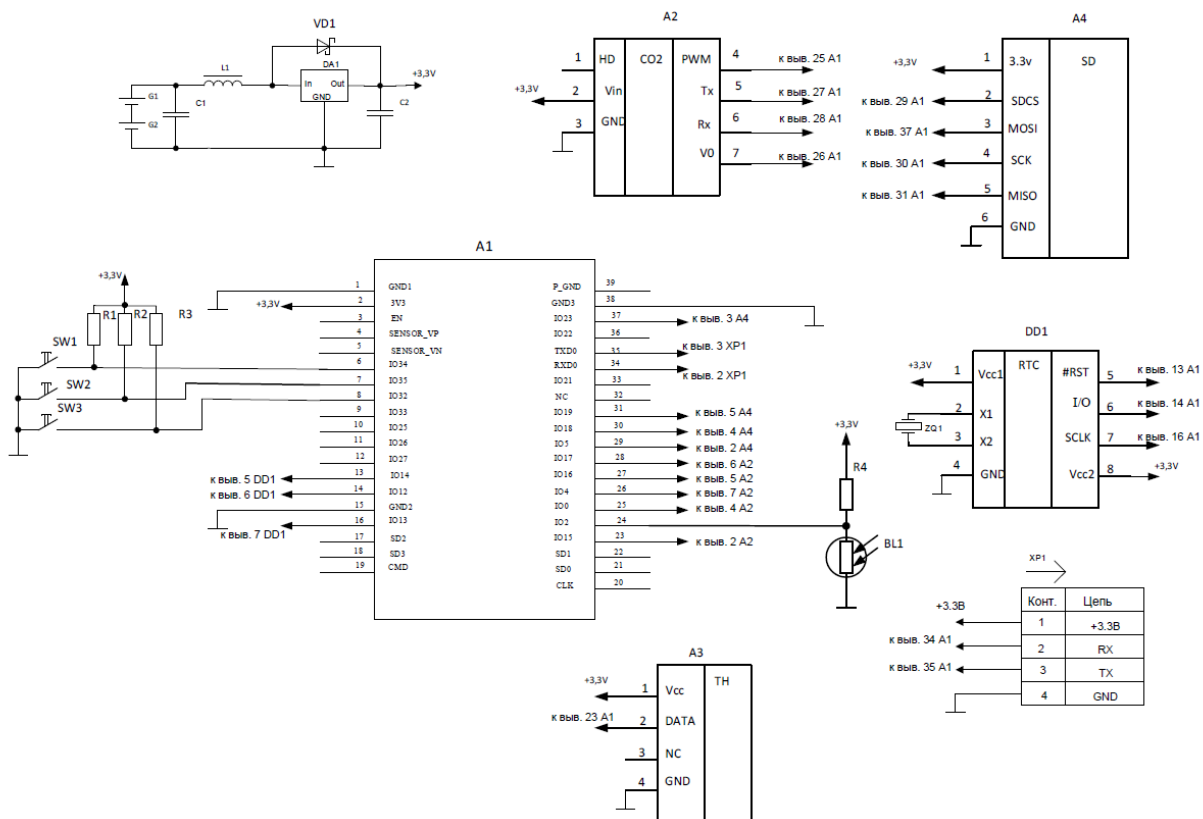


Рисунок 2.19 - Схема електрична принципова системи моніторингу параметрів навколишнього середовища

### 2.3 Висновки до другого розділу

У рамках цієї роботи розроблено пристрій для моніторингу температури, вологості, освітленості та рівня CO<sub>2</sub> на основі мікроконтролера ESP32. Пристрій забезпечує стабільне зчитування даних з використовуваних датчиків і передає їх для подальшої обробки. ESP32 був обраний через його енергоефективність, широкі комунікаційні можливості та достатню обчислювальну потужність. Використані датчики (DHT22, BH1750, MH-Z19B та ін.) показали прийнятну точність для домашніх і навчальних цілей.

Проведені випробування підтвердили ефективність системи в різних умовах навколишнього середовища. Результати вимірювань співвідносилися з показниками домашніх метеостанцій і довідкової апаратури. Система має потенціал для автономної роботи, оскільки може живитися від батарейок. Реалізована функція бездротової передачі даних дозволяє інтегрувати пристрій в локальну мережу або хмарне середовище.

Дана робота демонструє ефективність використання недорогих компонентів для створення функціонального пристрою моніторингу. Функціональні можливості можна розширити в майбутньому, включаючи додавання адміністративного інтерфейсу, журналу бази даних або мобільних додатків.

## 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИСТРОЮ

### 3.1 Розробка алгоритму роботи пристрою

Алгоритм роботи пристрою моніторингу навколишнього середовища можна описати наступним чином. Після подачі живлення на пристрій необхідно ініціалізувати мікроконтролер. Мікроконтролер опитує всі датчики послідовно і зберігає зчитані значення. Як правило, в процесі зчитування фізичних величин з датчиків необхідно провести процес нормалізації показань, тобто уніфікувати їх до однієї шкали.

Щоб прив'язати показання датчика до певного моменту часу, ви повинні спочатку прочитати показання годинника модуля реального часу, а потім зчитати показання датчика. Рекомендується створити двовимірний масив змінних, де кожен рядок буде приймати по одному показанню, а стовпці будуть містити вимірні значення фізичної величини.

Після виконання вимірювань і нормалізації вимірних значень, масив значень необхідно зберегти в пам'яті мікроконтролера ESP32 до моменту передачі через модуль WiFi на клієнтський пристрій або який-небудь хмарний сервіс для зберігання даних.

Всі ці процеси циклічно повторюються протягом усього часу роботи пристрою.

На рисунку 3.1 наведено алгоритм. Після включення живлення відбувається ініціалізація мікроконтролера: налаштовуються усі периферійні інтерфейси (GPIO, UART, I<sup>2</sup>C, SD-карта), встановлюються режими роботи датчиків і модуль годинника реального часу. Далі в циклі відбувається зчитування поточного часу з RTC, після чого послідовно опитуються датчики: температури, вологості, концентрації CO<sub>2</sub> та рівня освітленості. Отримані значення нормалізуються й перетворюються у зручний формат для зберігання

та відображення. Наступним кроком знімаються покази й записуються на SD-карту у вигляді рядків із часовими мітками [29-30].

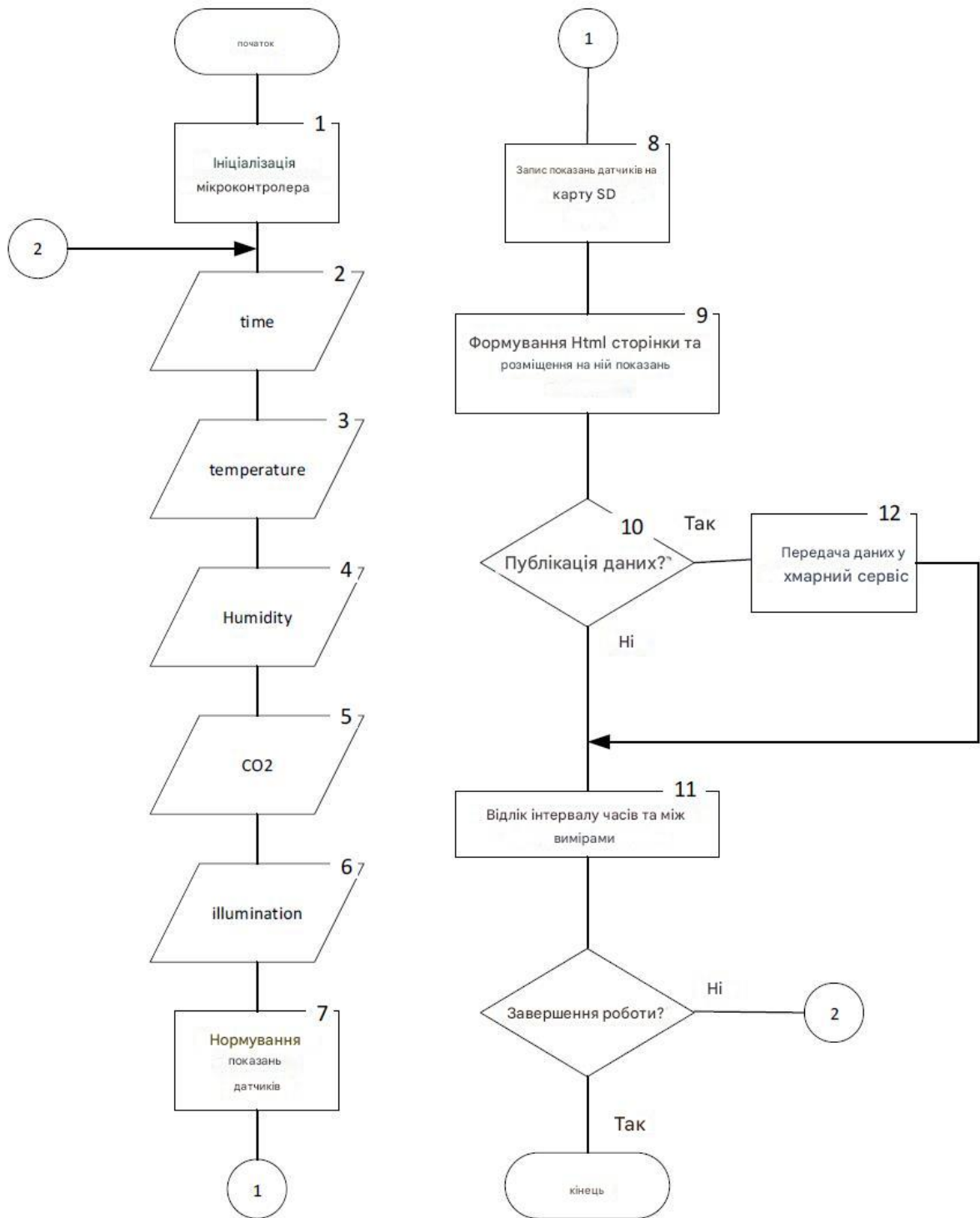


Рисунок 3.1 - Блок-схема алгоритму функціонування пристрої

		№ докум.	Підпис	

Після цього формується HTML-сторінка: створюється базова розмітка, вставляються актуальні значення показів, генеруються графічні елементи або таблиці. Далі перевіряється, чи налаштовано публікацію в хмарний сервіс; якщо так, здійснюється відправка даних за допомогою HTTP-запиту або MQTT-клієнта. Якщо публікація не потрібна або не вдалася, алгоритм пропускає цей етап і переходить до очікування.

Інтервал між циклами визначається налаштуваннями (наприклад, раз на хвилину); під час паузи мікроконтролер може переходити в енергозберігаючий режим до закінчення затримки. Після очікування перевіряється умова завершення роботи: якщо встановлено прапорець «Стоп» або досягнуто заданої кількості циклів, відбувається вихід із циклу та перехід до кінцевого блоку. Якщо ж завершення не заплановане, цикл повторюється з нового зчитування часу й показів. У кінці алгоритму система виводить повідомлення про завершення та переходить у режим очікування чи глибокого сну.

Після подачі живлення починається ініціалізація мікроконтролера: налаштовуються всі периферійні модулі, інтерфейси сенсорів та файлова система SD-картки. Далі в циклі з фіксованим інтервалом виконуються такі кроки:

1. Зчитуються часові мітки (time) та покази п'яти датчиків: температури, вологості, CO<sub>2</sub>, освітленості і додаткового параметра (якщо є).
2. Отримані дані нормалізуються — приводяться до єдиних одиниць, усуваються зашумлення і враховуються корекційні коефіцієнти.
3. Нормовані значення записуються на SD-картку в журналі вимірювань (щоб забезпечити локальне сховище та захист від втрати даних).
4. Формується HTML-сторінка з останніми показниками, яка розміщується у вбудованому файловому сервері MCU для локального перегляду через браузер.

5. Перевіряється прапорець «публікація». Якщо встановлено, дані у структурованому форматі (JSON або ін.) надсилаються у хмарний сервіс через Wi-Fi. Інакше передача пропускається.

6. Запускається затримка на заданий інтервал, після чого перевіряється умова завершення роботи (наприклад, команда з інтерфейсу або низький заряд акумулятора). Якщо «ні» — цикл повторюється з кроку зчитування; якщо «так» — прилад переходить у сплячий або вимикається.

Таким чином, алгоритм гарантує регулярне вимірювання, локальне зберігання, веб-інтерфейс для моніторингу та опціональну віддалену передачу даних без втрати жодного зчитування.

За наведеним алгоритмом розроблено програмний код наведений у Додатку А. Він складається з наступних етапів:

1. Ініціалізація: запуск DHT22, BH1750, MH-Z19 (через SoftwareSerial), SD-картки та Wi-Fi.

2. Цикл: щохвилино (за MEASURE\_INTERVAL) зчитуються показники температури, вологості, CO<sub>2</sub> та освітленості.

3. Логування на data.csv на SD та формування index.html для веб-інтерфейсу.

4. Обслуговування веб-клієнта: при зверненні до HTTP-серверу Arduino віддає останню сторінку з SD.

5. Віддалена публікація: HTTP POST на api.example.com/upload за вимогою (прапорець publishToCloud).

6. Захист від розряду: при напрузі акумулятора нижче LOW\_BATT\_THRESHOLD система зупиняється.

Цей скетч адаптовано під конкретні модулі датчиків, хмарний API та інтервал опитування.

### 3.2 Розробка конструкції друкованої плати модуля збору

Усі модулі та компоненти, з яких складається система моніторингу параметрів навколишнього середовища, розміщено на друкованій платі та фольгованому скловолокні. Припаюємо модуль і датчик до друкованої плати. Датчик вологості та температури DHT22 має 4 контакти та вставляється в отвори. Датчик CO2 MH-Z19b має отвори для кріплення проводів або контактних штирів. Ми також розмістимо цей датчик на поверхні основної друкованої плати за допомогою пайки. Оскільки розробка конструкції корпусу не входила до завдань випускної кваліфікаційної роботи, а оптичний датчик розміщується на поверхні корпусу за допомогою спеціально передбаченого отвору, необхідно передбачити місце для пайки з'єднувальних проводів цього датчика. Для установки акумулятора припускаємо, що використовується спеціальне сидіння-контейнер, від його клем дроти підключаються до материнської плати і припаюються, і з'єднуються таким способом.

Розмістимо модуль ESP32-WROOM-32D на поверхні материнської плати і закріпимо його пайкою. На поверхні друкованої плати розміщено кнопки, які керують пристроєм [31-33].

### 3.3 Розробка друкованої плати пристрою

Друкована плата (друкована плата) — плата, виготовлена з діелектрика (скловолокна, текстоліту, гетинакса, ситалу тощо), на якому та/або всередині якого сформовано хоча б один шар із струмопровідними доріжками. Електронні компоненти змонтовані на друкованій платі, їх виводи з'єднані з компонентами схеми проводки паянням або, рідше, зварюванням, утворюючи таким чином електронний модуль – змонтовану друковану плату.

Термінологію та визначення основних понять у галузі друкованих плат встановлює ДСТУ 2646-94 [33]. Основні з них:

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	48
		№ докум.	Підпис			

– друкована плата - спосіб складання, згідно з яким з'єднання компонентів електрообладнання здійснюється за допомогою друкованих провідників;

– візерунок (друкованої плати) – конфігурація струмопровідних і (або) діелектричних матеріалів, отримана перенесенням відповідного зображення на друковану плату;

– провідний рисунок – рисунок друкованої плати, сформований із струмопровідного матеріалу;

– підкладка (PCB) – частина друкованої плати, на поверхні або об'ємі якої виконано струмопровідний рисунок;

– одностороння друкована плата – друкована плата, яка лише з одного боку має струмопровідний рисунок;

– товщина (PCB) – товщина підкладки друкованої плати, включаючи провідну структуру або провідні структури;

– печатний провідник – струмопровідна смужка в струмопровідному рисунку;

– ширина друкованого провідника – бічний розмір друкованого провідника в будь-якому видимому місці на плані;

– контактна площа (контактна площадка) – частина провідної схеми, що використовується для з'єднання електронних компонентів радіоелектронного обладнання;

– плакований отвір – отвір у друкованій платі, на стінки якого нанесено струмопровідний матеріал;

– координатна сітка - сітка, яка визначає розташування графічних елементів друкованої плати в прямокутній або полярній системі координат;

– вузли сітки – точки перетину ліній сітки;

– інтервал сітки – відстань між сусідніми лініями сітки (виражена в лінійних або кутових одиницях).

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	
		№ докум.	Підпис			49

Матеріали, які використовуються для виготовлення друкованих плат, повинні мати високі електроізоляційні властивості та достатню механічну міцність. Для виготовлення друкованих плат використовують фольговані та нефольговані діелектрики. Найбільшого поширення набули фольговані діелектрики.

Приклад запису назви матеріалу: СФ-1-35-1.5 ГОСТ 10316-78 [3], де:

- SF – фольгований склотекстоліт;
- 1 — одна сторона фольга;
- 35 — Товщина фольги (мікрометрів);
- 1,5-Товщина матеріалу, включаючи шар фольги (в міліметрах).

Друковані плати будуть виготовлені з двостороннього фольгованого склотекстоліти СФ-2-35-1,5 товщиною 1,5 мм. Його параметри наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Параметри склотекстоліту СФ- 2-35-1,5

Марка	Електричні параметри фольгованого склотекстоліта			
	Товщина ізоляції d, мм	Товщина фольги h, мкм	Максимальна щільність струму J, А/мм <sup>2</sup>	Питомий опір ізолятора ρ, Ом/м
СФ- 2-35-1.5	1,5	35	4	$1,2 \cdot 10^9$

Всі елементи схеми є інформативними, і лінії зв'язку між модулями та елементами схеми також можна віднести до інформативних, тому при проектуванні друкованої плати встановлено бажану ширину провідника 0,2 мм і відстань між доріжками 0,2 мм. Ширину доріжки силового провідника від точки підключення батареї до решти схеми та до модуля ESP32-WROOM-32D зробимо рівною 1 мм.





шарів друковані плати можуть бути одношаровими (скорочено PCB), двошаровими (скорочено DDP) або багатошаровими (скорочено MDP).

Одношарові друковані плати використовуються для відносно простих пристроїв. У порівнянні з одношаровим, подвійний шар може значно збільшити щільність монтажу компонентів петлі. Багатошарові плати використовуються, коли компонування двошарової друкованої плати занадто складне або не має сенсу.

Залежно від технології монтажу розрізняють плати поверхневого монтажу, плати монтажу через отвір і плати гібридного монтажу. Відповідно до ДСТУ 2646-94 друковані плати виготовляють хімічним, електрохімічним або комбінованим методами, а останнім часом широкого застосування набули також адитивні методи [37-38].

Формування шаблонів друкованих плат:

- трафаретний друк,
- зсув,
- фотохімія: негативна і позитивна полярність.

Як правило, друковані плати розробляються індивідуально в залежності від типу електронної схеми та корпусу компонентів. Для їх розробки існує спеціальне програмне забезпечення, яке дозволяє створювати схеми, вибирати найкраще розміщення електронних компонентів (досягнення найкоротшої довжини провідної доріжки, балансування сигнальних ліній, зменшення кількості перемичок або шарів доріжки тощо), генерувати файли шаблонів фотографій та інструкцій для виготовлення друкованих плат на верстатах з ЧПК.

Друковані плати системи моніторингу будуть виготовлені за допомогою хімічного методу, який використовує хлорид заліза для травлення форм провідника. Металізація отворів виконується електрохімічним осадженням міді. Для хімічної ізоляції ділянок мідної фольги на поверхні скловолокна, які

потрібно залишити як провідні доріжки, на ці ділянки наноситься матеріал, стійкий до хлориду заліза.

Після завершення процесу травлення та очищення друкованої плати виконується свердління (кріплення та перехід). Потім припій наноситься на доріжку шляхом лудіння, а частини друкованої плати, крім точок пайки, покриваються лаком, а потім на лаку трафаретним друком наноситься текстова графіка, яка вказує на монтажне положення компонентів і їх назви позицій на електричній принциповій схемі [39-40].

Розташування модулів і компонентів на друкованій платі показано на рисунку 3.4.

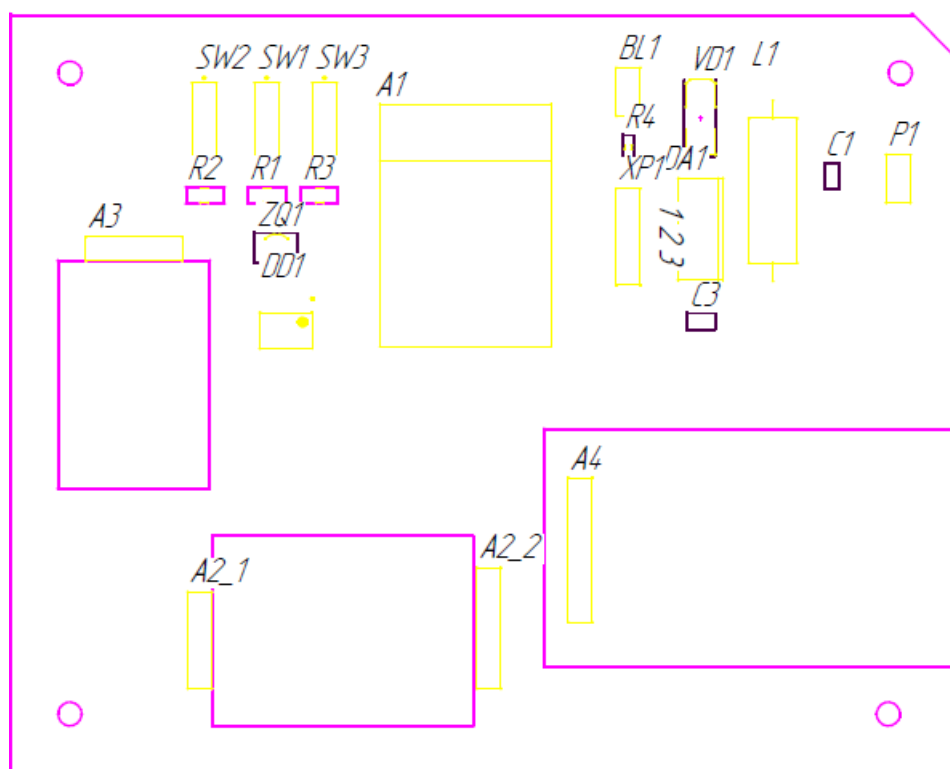


Рисунок 3.4 - Розташування елементів на друкованій платі

### 3.5 Висновки до третього розділу

В ході роботи розроблено конструкцію друкованої плати системи моніторингу параметрів навколишнього середовища. Усі компоненти, включаючи модуль ESP32-WROOM-32D і датчики, змонтовані на покритій фольгою скловолоконній плиті. Визначено технічні параметри друкованої плати, включаючи ширину провідників і відстань між провідниками. Передбачена можливість установки датчиків і батарей з урахуванням їх конструктивних особливостей.

Плата була розроблена в Altium Designer з урахуванням електричних вимог. Для виготовлення було обрано двостороннє скловолоконно СФ-2-35-1,5 товщиною 1,5 мм. Плата виготовлена хімічним шляхом методом травлення хлоридом заліза. Металізацію отворів проводили електрохімічним способом. Остаточна обробка включає лудіння, лакування та маркування елементів. Кінцевим результатом є функціональна друкована плата, готова для встановлення компонентів системи.

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	55
		№ докум.	Підпис			

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання даної роботи було створено повноцінний автономний пристрій моніторингу параметрів навколишнього середовища, що поєднує в собі як апаратну, так і програмну складові сучасного рівня. Мікроконтролер ESP32 забезпечує високу обчислювальну потужність, енергоефективність та комунікаційні можливості, необхідні для реалізації бездротового зв'язку із зовнішніми терміналами та хмарними сервісами. Вибір ESP32 як «системи на кристалі» дозволив значно зменшити апаратну складність — відмовитися від окремих модулів Wi-Fi чи Bluetooth — та оптимізувати витрати енергії в режимах глибокого сну.

Серед ключових елементів системи — датчики DHT22 (температура/вологість), BH1750 (освітленість), MH-Z19B (CO<sub>2</sub>) та фотодатчик-поріг, які забезпечують достатню точність, оперативність і надійність вимірювань для побутових і освітніх застосувань. За рахунок застосування інтерфейсів I<sup>2</sup>C, UART та простих аналогових входів було досягнуто зручності підключення і конфігурування. Для прив'язки даних до часових міток у систему інтегровано модуль реального часу DS1302, а система зберігання даних реалізована на основі SD-карти через адаптер Catalex.

Програмне забезпечення забезпечує цикл ініціалізації апаратних підсистем, опитування датчиків із нормалізацією результатів, архівацію у внутрішній буфер і на SD-карту, а також публікацію поточних значень і графіків на вбудованій HTML-сторінці та передачу у хмару. Завдяки цьому користувач отримує віддалений доступ до даних моніторингу з будь-якого пристрою з веб-браузером.

Друкована плата, розроблена в Altium Designer і виготовлена хімічним травленням на двосторонньому склотекстоліті СФ-2-35-1,5, дозволяє компактно розмістити всі компоненти й забезпечити надійні електричні

					КвРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	56
		№ докум.	Підпис			

з'єднання. Виконана металізація переходів, лудіння й маркування контактів спрощують монтаж модулів та обслуговування.

Під час метрологічних випробувань отримані показники температури, вологості та концентрації CO<sub>2</sub> корелювали з даними еталонних метеостанцій, що підтвердило адекватність точності та стабільності системи. Тест автономного живлення від двох акумуляторів показав можливість безперервної роботи до 24 годин, що робить пристрій придатним для мобільних чи віддалених застосувань.

Розроблена платформа є модульною та гнучкою: у майбутньому можна додати додаткові сенсори (наприклад, датчики рівня шуму або забруднення повітря PM<sub>2.5</sub>), реалізувати машинне навчання для прогнозування трендів, інтегрувати MQTT-клієнт або REST-API для промислового Інтернету речей. Також перспективним є створення мобільного застосунку для зручного візуального відображення історичних даних та сповіщень про перевищення встановлених порогів.

Отже, виконаний проект довів, що за допомогою недорогих та широко доступних компонентів можна побудувати ефективну, надійну й масштабовану систему моніторингу навколишнього середовища, що відповідає сучасним вимогам автоматизації й Індустрії 4.0.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Андреев С. І. Екологічний моніторинг: теорія і практика. Київ : Наукова думка, 2017. 312 с.
2. Бондарук О. Г. Методи оцінки стану атмосферного повітря. Львів : ЛНУ імені І. Франка, 2019. 224 с.
3. Громико В. П. Супутникові системи дистанційного моніторингу. Київ : КНУ, 2018. 280 с.
4. Даниленко І. М. Біомоніторинг у практиці охорони довкілля. Харків : ХНУ, 2020. 198 с.
5. Жуков Н. А. Геоекологія та геомоніторинг. Одеса : ОНУ, 2016. 256 с.
6. Захарова Л. О. Кліматичний моніторинг: приклади реалізації. Дніпро : ДНУ, 2021. 310 с.
7. Іванов П. С. Біосферний моніторинг: міжнародний досвід. Вінниця : ВДТУ, 2015. 272 с.
8. Копиленко М. В. Станційні прилади екологічного моніторингу. Чернівці : ЧНУ, 2019. 184 с.
9. Литвинчук А. С. Промислові мобільні лабораторії у вимірюванні довкілля. Львів : НАУ, 2018. 208 с.
10. Марченко О. Ю. Датчики контролю CO<sub>2</sub>: огляд та порівняння. Харків : ХАІ, 2020. 196 с.
11. NASA. Atmospheric Science Data Center \[Електронний ресурс] NASA, 2021. Режим доступу: [<https://asdc.nasa.gov>](<https://asdc.nasa.gov>) (дата звернення: 10.05.2025).
12. Norman D. Air Quality Monitoring Systems. London : Springer, 2017. 320 p.
13. O'Connor P. Fundamentals of Environmental Sensing. New York : Wiley, 2016. 288 p.

					КВРАКІТ.2022130.01.15 ПЗ	58
		№ докум.	Підпис			

14. Рибак П. О. Локальний екологічний моніторинг: технології та рішення. Київ : КПІ, 2018. 240 с.

15. Smith J. Portable Air Quality Instruments. Berlin : De Gruyter, 2015. 256 р.

16. Statista Research Department. Share of consumers relying on visual information when shopping online \[Електронний ресурс] New York : Statista, 2022. Режим доступу: [<https://www.statista.com>](<https://www.statista.com>) (дата звернення: 05.05.2025).

17. TION MAGICAIR User Guide \[Електронний ресурс] Brussels : Tion, 2020. Режим доступу: [<https://tion.ua>](<https://tion.ua>) (дата звернення: 07.05.2025).

18. Власюк Г. Г., Співак В. М. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації \[Електронний ресурс] Київ : Освіта України, 2010. 159 с. Режим доступу: [<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19129>](<http://ela.kpi.ua/handle/123456789/19129>) (дата звернення: 06.05.2025).

19. IQAir. AirVisual Pro Manual \[Електронний ресурс] Los Angeles : IQAir, 2019. Режим доступу: [<https://www.iqair.com>](<https://www.iqair.com>) (дата звернення: 06.05.2025).

20. Atomic. W839007-B Weather Station Manual \[Електронний ресурс] Shenzhen : Atomic, 2018. Режим доступу: [<https://atomic.ua>](<https://atomic.ua>) (дата звернення: 05.05.2025).

21. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual \[Електронний ресурс] Shanghai : Espressif, 2018. Режим доступу: [<https://www.espressif.com>](<https://www.espressif.com>) (дата звернення: 05.05.2025).

22. Arduino. Arduino IDE Reference \[Електронний ресурс] Boston : Arduino LLC, 2024. Режим доступу:

[<https://www.arduino.cc/reference/en/>](<https://www.arduino.cc/reference/en/>)  
(дата звернення: 05.05.2025).

23. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. Sebastopol (CA) : O'Reilly, 2016. 312 p.

24. Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. Sebastopol (CA) : Maker Media, 2014. 232 p.

25. Aosong. DHT22 (AM2302) Datasheet \[Електронний ресурс] Beijing : Aosong, 2015. Режим доступу: [<https://aosong.com>](<https://aosong.com>) (дата звернення: 06.05.2025).

26. ROHM. BH1750 Digital Light Sensor Datasheet \[Електронний ресурс] Kyoto : ROHM, 2017. Режим доступу: [<https://www.rohm.com>](<https://www.rohm.com>) (дата звернення: 06.05.2025).

27. Winsen. MH-Z19B CO<sub>2</sub> Sensor Datasheet \[Електронний ресурс] Zhengzhou : Winsen, 2019. Режим доступу: [<https://www.winsen-sensor.com>](<https://www.winsen-sensor.com>) (дата звернення: 06.05.2025).

28. Maxim Integrated. DS1302 RTC Module Datasheet \[Електронний ресурс] San Jose : Maxim Integrated, 2016. Режим доступу: [<https://www.maximintegrated.com>](<https://www.maximintegrated.com>) (дата звернення: 06.05.2025).

29. Catalex. MicroSD Card Adapter Manual \[Електронний ресурс] Shenzhen : Catalex, 2018. Режим доступу: [<https://www.catalex.com>](<https://www.catalex.com>) (дата звернення: 05.05.2025).

30. Brown T. Embedded System Design with ESP32. New York : Wiley, 2020. 352 p.

31. Kasper M. IoT на основі ESP32: практичний посібник. Київ : Наукова думка, 2021. 264 с.

32. Silicon Labs. BL8530 Boost Converter Datasheet \[Електронний ресурс] Austin : Silicon Labs, 2019. Режим доступу: [https://www.silabs.com](https://www.silabs.com)(https://www.silabs.com) (дата звернення: 05.05.2025).

33. Altium. Altium Designer User Guide \[Електронний ресурс] San Diego : Altium, 2023. Режим доступу: [https://www.altium.com](https://www.altium.com)(https://www.altium.com) (дата звернення: 05.05.2025).

34. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Berlin : Springer, 2015. 512 p.

35. LaValle S. Planning Algorithms. Cambridge (MA) : Cambridge Univ. Press, 2006. 800 p.

36. ДСТУ 2646-94. Друковані плати. Терміни та визначення. Київ : Мінмаш-пром, 1994. 28 с.

37. ДСТУ 10316-78. Склотекстоліт фольгований. Технічні умови. Київ : Держстандарт, 1978. 16 с.

38. Smith A. PCB Fabrication and Assembly. London : IET, 2018. 200 p.

39. Lee J. Chemical Etching of Copper Clad Laminates. New York : McGraw-Hill, 2017. 176 p.

40. IPC-2221. Generic Standard on Printed Board Design. Bannockburn : IPC, 2014. 64 p.

## ДОДАТОК А

### Програмний код

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <DHT.h>
#include <BH1750.h>
#include <SoftwareSerial.h>

// —— CONFIG ——
const char* ssid    = "YOUR_SSID";
const char* password = "YOUR_PASS";
const char* cloudHost = "api.example.com"; // placeholder
const int  cloudPort = 80;
const char* cloudPath = "/upload";

const unsigned long MEASURE_INTERVAL = 5UL * 60UL * 1000UL; // 5
min

const float LOW_BATT_THRESHOLD = 3.3; // volts

const int SD_CS_PIN  = 10;
const int DHT_PIN    = 2;
const int DHT_TYPE   = DHT22;
const int CO2_RX_PIN = 8;
const int CO2_TX_PIN = 9;
const int BATTERY_PIN = A0;
```

```

// —— OBJECTS ——
DHT  dht(DHT_PIN, DHT_TYPE);
BH1750 lightMeter;
SoftwareSerial co2Serial(CO2_RX_PIN, CO2_TX_PIN);
WiFiServer server(80);

unsigned long lastMillis = 0;
bool publishToCloud = true;

// —— SETUP ——
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  // Sensors
  dht.begin();
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  co2Serial.begin(9600);
  // SD
  if (!SD.begin(SD_CS_PIN)) {
    Serial.println("SD fail");
  }
  // Wi-Fi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
  }
  server.begin();
}

```

```

// —— HELPERS ——

float readBattery() {
    int raw = analogRead(BATTERY_PIN);
    float voltage = raw / 1023.0 * 5.0 * 2; // voltage divider
    return voltage;
}

int readCO2() {
    byte cmd[9] = { 0xFF,0x01,0x86,0,0,0,0,0x79 };
    byte resp[9] = {0};
    co2Serial.write(cmd, 9);
    delay(100);
    if (co2Serial.available()) {
        co2Serial.readBytes(resp, 9);
        int co2 = (resp[2]<<8) | resp[3];
        return co2;
    }
    return -1;
}

void logToSD(float t, float h, int co2, float lux) {
    File f = SD.open("data.csv", FILE_WRITE);
    if (f) {
        f.print(millis()); f.print(',');
        f.print(t);    f.print(',');
        f.print(h);    f.print(',');
        f.print(co2);  f.print(',');
        f.println(lux);
        f.close();
    }
}

```

```

    }
}

void writeHTML(float t, float h, int co2, float lux) {
    File f = SD.open("index.html", FILE_WRITE);
    if (!f) return;
    f.println("<!DOCTYPE html><html><head><meta charset='utf-8'><title>Env Monitor</title></head><body>");
    f.print("<h1>Readings</h1><ul>");
    f.print("<li>Temperature: "); f.print(t); f.println(" &deg;C</li>");
    f.print("<li>Humidity: "); f.print(h); f.println(" %</li>");
    f.print("<li>CO<sub>2</sub>: "); f.print(co2); f.println(" ppm</li>");
    f.print("<li>Light: "); f.print(lux); f.println(" lux</li>");
    f.println("</ul></body></html>");
    f.close();
}

void serveClient() {
    WiFiClient client = server.available();
    if (!client) return;
    // simple serve index.html
    File f = SD.open("index.html");
    if (f) {
        client.println("HTTP/1.1 200 OK");
        client.println("Content-Type: text/html");
        client.println("Connection: close");
        client.println();
        while (f.available()) client.write(f.read());
        f.close();
    }
}

```

```

    }
    client.stop();
}

void postToCloud(float t, float h, int co2, float lux) {
    WiFiClient client;
    if (!client.connect(cloudHost, cloudPort)) return;
    String body = String("temp=") + t + "&hum=" + h + "&co2=" + co2 +
"&lux=" + lux;
    client.print(String("POST ") + cloudPath + " HTTP/1.1\r\n" +
        "Host: " + cloudHost + "\r\n" +
        "Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\r\n" +
        "Content-Length: " + body.length() + "\r\n\r\n" +
        body);
    delay(100);
    client.stop();
}

// —— MAIN LOOP ——
void loop() {
    unsigned long now = millis();
    serveClient();

    // check termination: low battery or manual command
    if (readBattery() < LOW_BATT_THRESHOLD) {
        // go to deep sleep or halt
        while(true) { delay(1000); }
    }
}

```

```
if (now - lastMillis >= MEASURE_INTERVAL) {  
    lastMillis = now;  
    // 1) Read sensors  
    float temp = dht.readTemperature();  
    float hum = dht.readHumidity();  
    int co2 = readCO2();  
    float lux = lightMeter.readLightLevel();  
    // 2) Normalize & sanity check (skipped)  
    // 3) Log locally  
    logToSD(temp, hum, co2, lux);  
    // 4) Generate HTML  
    writeHTML(temp, hum, co2, lux);  
    // 5) Optionally push to cloud  
    if (publishToCloud) {  
        postToCloud(temp, hum, co2, lux);  
    }  
}  
}
```

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Пукас Олексій Володимирович

Тема: Системи моніторингу параметрів навколишнього середовища

Спеціальність: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 61

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є розробка автономної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища на базі ESP32.
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено огляд рішень систем моніторингу параметрів навколишнього середовища. У другому розділі проведено розробку технічного забезпечення системи моніторингу параметрів навколишнього середовища. У третьому розділі проведено розробку програмного забезпечення системи моніторингу параметрів навколишнього середовища та виконано його практичну реалізацію.
4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо розкрито питання обґрунтування вибору технічних засобів

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

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

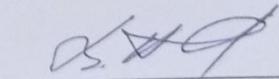
8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (3.00/E)

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

Степанушок Володимир Євгенович, доц.  
кадр. ТМІТ

" 19 " 06 2025 р.

  
(підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР  
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Олексій ПУКАС

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курс, групи АКІТс-22-1

### ЗАЯВА

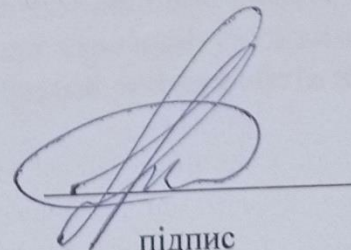
З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(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 (StrikePlagiarism 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.

08.06.2025 р.

дата

  
підпис

## Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

**Автор:** Олексій ПУКАС

**Співавтор:**

**Назва:** Пукас антиплагіат

**Експерт:**

**Підрозділ:** Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

**Коефіцієнт подібності 1:** 11.2%

**Коефіцієнт подібності 2:** 2.4%

**Мікропробіли:** 0

**Заміна букв:** 1

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

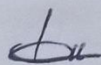
**Дата створення звіту:** 2025-06-19 06:24:42.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

- Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.
- Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.
- Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

**Обґрунтування:**

2025-06-19



Доцент Микола Федула

експерт

Дата

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

**The maximum coincidence with one document 1.0%**

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. **Errors in the documents: 9%**

ID: 246838 Title: БКР Система керування фотостолом Added in a DB: 2025-06-19 Authors: Олексій ПУКАС Heads: Ірина ФОРКУН Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	50737	810	824 (2%)	10 (1%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
РОБОТОТЕХНІКИ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

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

Назва: Системи моніторингу параметрів навколишнього середовища

Автор: Пукас Олексій Володимирович

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Форкун Ірина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

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

Підтвердження:

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

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

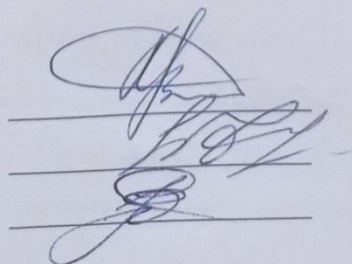
3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 11,24% і адресується до 41 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи



Валерій МАРТИНЮК

Юрій ФОРКУН

Ірина ФОРКУН