

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління

КАЛИНЮК Роман Іванович

**Програмний модуль мобільної системи моніторингу параметрів
навколишнього середовища / Software module of a mobile environmental
monitoring system**

Спеціальність 122 «Комп'ютерні науки»
освітньо-професійна програма – Комп'ютерні науки
Кваліфікаційна робота

Виконав студент
групи КН-43
Калинюк Р. І.

Науковий керівник
д.т.н., професор
Саченко А. О.

Кваліфікаційна робота
Допущена до захисту
«__» _____ 2026 р.

Завідувач кафедри

_____ Н.В. Дзюбановська

Тернопіль-2026

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-обчислювальних систем і управління
Ступінь вищої освіти «бакалавр»
спеціальність 122 – «Комп'ютерні науки»
освітньо-професійна програма –« Комп'ютерні науки

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 В.о. завідувача кафедри
 _____ Н.В. Дзюбановська
 « ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Калинюку Роману Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

**Програмний модуль мобільної системи моніторингу параметрів
 навколишнього середовища / Software module of a mobile environmental
 monitoring system**

керівник роботи д.т.н., професор А.О. Саченко

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджений наказом по університету від 01 грудня 2025 року № 892.

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи 25 травня 2026 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: завдання на кваліфікаційну роботу студента, наукові статті, технічна література.

4. Основні питання, які потрібно розробити:

- Проаналізувати існуючі підходи, архітектури та технічні рішення у сфері мобільного екологічного моніторингу.
- Спроекувати чотирирівневу архітектуру системи та структуру потоків даних.
- Обґрунтувати вибір апаратної бази та розробити протокол бездротової передачі даних з контролем цілісності.
- Реалізувати алгоритми цифрової фільтрації вхідних сигналів на стороні мікроконтролера.
- Розробити інтерфейс користувача та архітектуру мобільного додатка для збору, обробки та збереження даних.
- Провести експериментальне тестування розробленого модуля в реальних умовах та оцінити його ефективність.

5. Перелік графічного матеріалу в роботі:

- Схема чотири рівневої архітектури програмно-апаратного комплексу
- Діаграма потоків даних (Data Flow Diagram — DFD)
- UML-діаграма компонентів мобільного Android-додатка

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання 01 грудня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Затвердження теми кваліфікаційної роботи, ознайомлення з літературними джерелами та складання плану роботи	до 01.01. 2026 р.	
2	Написання 1 розділу кваліфікаційної роботи	до 01.02. 2026 р.	
3	Написання 2 розділу кваліфікаційної роботи	до 01.04.2026 р.	
4	Написання 3 розділу кваліфікаційної роботи	до 01.05. 2026 р.	
5	Представлення попереднього варіанту кваліфікаційної роботи, перевірка та внесення змін керівником	до 15.05.2026 р.	
6	Опрацювання зауважень та представлення завершеного варіанту кваліфікаційної роботи. Підготовка супроводжуючих документів	до 25.05.2026 р.	
7	Перевірка кваліфікаційної роботи на оригінальність тексту	до 30.05.2026 р.	
8	Оформлення кваліфікаційної роботи та отримання допуску до захисту	до 10.06.2026 р.	
9	Подання кваліфікаційної роботи до захисту на засіданні атестаційної комісії	до 10.06. 2026 р.	

Студент _____ Р.І. Калинюк _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ А.О. Саченко _____

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи: 52 с., 7 рис., 4 табл., 3 додатки, 50 джерел.

Об'єктом дослідження є процес мобільного моніторингу параметрів навколишнього середовища із використанням бездротових сенсорних технологій та мобільних інформаційних систем.

Метою роботи є розробка програмно-апаратного комплексу для моніторингу параметрів навколишнього середовища, що забезпечує збір, обробку, передачу та візуалізацію екологічних даних у режимі реального часу з використанням технологій Інтернету речей (IoT), бездротового зв'язку та мобільних платформ.

Методи дослідження: методи аналізу та проектування інформаційних систем, технології Інтернету речей, методи цифрової обробки сигналів, алгоритми фільтрації вимірюваних даних, методи контролю цілісності інформації на основі CRC-кодів, технології бездротової передачі даних Bluetooth Low Energy та Wi-Fi, засоби розробки мобільних Android-додатків, методи тестування програмного забезпечення та аналізу ефективності функціонування системи.

Результатом роботи є мобільний програмно-апаратний комплекс екологічного моніторингу, який здійснює збір даних від датчиків температури, вологості, якості повітря, ультрафіолетового випромінювання та рівня шуму, виконує їх попередню обробку, передає дані на мобільний пристрій користувача та забезпечує їх подальше зберігання і візуалізацію. Розроблена система може використовуватися для персонального екологічного моніторингу, контролю стану довкілля у міських умовах, освітніх і дослідницьких проєктів, а також як складова розподілених систем моніторингу навколишнього середовища.

Ключові слова: ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ESP8266, ANDROID, BLUETOOTH LOW ENERGY, МОБІЛЬНИЙ ДОДАТОК, ЦИФРОВА ФІЛЬТРАЦІЯ, ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, МОБІЛЬНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА.

ANNOTATION

Explanatory note to the qualification work: 52 p., 7 fig., 4 tables, 3 appendices, 50 sources.

The object of the research is the process of mobile monitoring of environmental parameters using wireless sensor technologies and mobile information systems.

The purpose of the work is to develop a software and hardware complex for monitoring environmental parameters, which provides collection, processing, transmission and visualization of environmental data in real time using Internet of Things (IoT) technologies, wireless communication and mobile platforms.

Research methods: methods of analysis and design of information systems, Internet of Things technologies, digital signal processing methods, algorithms for filtering measured data, methods of information integrity control based on CRC codes, Bluetooth Low Energy and Wi-Fi wireless data transmission technologies, tools for developing mobile Android applications, methods of software testing and analysis of system performance.

The result of the work is a mobile software and hardware complex for environmental monitoring, which collects data from sensors of temperature, humidity, air quality, ultraviolet radiation and noise level, performs their pre-processing, transfers data to the user's mobile device and ensures their further storage and visualization. The developed system can be used for personal environmental monitoring, environmental monitoring in urban conditions, educational and research projects, as well as as a component of distributed environmental monitoring systems.

Keywords: INTERNET OF THINGS, ESP8266, ANDROID, BLUETOOTH LOW ENERGY, MOBILE APPLICATION, DIGITAL FILTERING, ENVIRONMENTAL MONITORING, MOBILE INFORMATION SYSTEM.

ЗМІСТ

Список скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз предметної області систем моніторингу параметрів навколишнього середовища.....	13
1.1 Актуальність та значення мобільного екологічного моніторингу	13
1.2 Класифікація та порівняльний аналіз існуючих рішень.....	14
1.3 Аналіз апаратних факторів та критеріїв проектування системи.....	16
2 Проектування програмного модуля мобільної системи моніторингу.....	20
2.1 Чотирирівнева архітектура системи	20
2.2 Проектування потоків даних програмного модуля.....	22
2.3 Розробка протоколу передачі та забезпечення цілісності даних.....	24
2.4 Обґрунтування вибору технологічного стеку.....	25
3 Реалізація та тестування програмного модуля.....	28
3.1 Реалізація алгоритмів цифрової фільтрації сигналів	28
3.2 Програмна реалізація інтерфейсу мобільного додатка.....	29
3.3 Тестування системи та аналіз результатів.....	33
Висновки	39
Список використаних джерел	40
Додаток А Лістинг програми мікроконтролера для збору даних та цифрової фільтрації.....	45
Додаток Б Фрагмент коду мобільного додатка для парсингу даних та перевірки CRC-16.....	47
Додаток В Апробація отриманих результатів	49

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- API (Application Programming Interface) – інтерфейс програмування застосунків.
- BLE (Bluetooth Low Energy) – енергоефективна технологія бездротової передачі даних Bluetooth.
- CRC (Cyclic Redundancy Check) – циклічний надлишковий контроль для перевірки цілісності даних.
- DFD (Data Flow Diagram) – діаграма потоків даних.
- GPS (Global Positioning System) – глобальна система позиціонування.
- GUI (Graphical User Interface) – графічний інтерфейс користувача.
- HTTP (HyperText Transfer Protocol) – протокол передачі гіпертексту.
- IoT (Internet of Things) – Інтернет речей.
- JSON (JavaScript Object Notation) – текстовий формат обміну даними.
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – протокол передачі повідомлень для IoT-систем.
- MySQL (My Structured Query Language) – система управління реляційними базами даних.
- PCB (Printed Circuit Board) – друкована плата.
- ppm (parts per million) – мільйонна частка концентрації речовини.
- REST (Representational State Transfer) – архітектурний стиль взаємодії програмних компонентів через мережу.
- RSSI (Received Signal Strength Indicator) – індикатор рівня прийнятого сигналу.
- SQL (Structured Query Language) – мова структурованих запитів до баз даних.
- UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) – універсальний асинхронний приймально-передавальний інтерфейс.
- UI (User Interface) – інтерфейс користувача.
- UV (Ultraviolet) – ультрафіолетове випромінювання.
- Wi-Fi (Wireless Fidelity) – технологія бездротової локальної мережі.
- WSN (Wireless Sensor Network) – бездротова сенсорна мережа.
- XML (eXtensible Markup Language) – розширювана мова розмітки.

ВСТУП

Актуальність теми. На сьогоднішній день проблема погіршення стану навколишнього середовища, зокрема забруднення атмосферного повітря в урбанізованих зонах, є однією з найгостріших екологічних проблем людства. Тривалий вплив шкідливих газів, дрібнодисперсного пилу та екстремальних мікрокліматичних умов безпосередньо впливає на здоров'я населення, викликаючи хронічні захворювання. Державні стаціонарні пости спостереження, попри високу точність, є дороговартісними, громіздкими та мають низьку просторову роздільну здатність, залишаючи значні території поза моніторингом.

Розвиток технологій Інтернету речей (IoT), бездротових сенсорних мереж та мобільних пристроїв відкриває нові можливості для створення низьковартісних, компактних та гнучких систем моніторингу. Створення мобільного програмно-апаратного модуля, здатного збирати екологічні параметри у реальному часі, фільтрувати завади, прив'язувати дані до геокоординат та візуалізувати їх на смартфоні користувача, є актуальним науково-практичним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася відповідно до наукових напрямків кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій у сфері розробки розподілених IoT-систем та інтелектуального аналізу даних.

Мета дослідження – розробка програмного модуля мобільної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища (температури, вологості, концентрації газів, УФ-випромінювання) на базі мікроконтролера та мобільного додатка Android для підвищення оперативності та доступності екологічного контролю.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- Проаналізувати існуючі підходи, архітектури та технічні рішення у сфері мобільного екологічного моніторингу.

- Спроекувати чотирирівневу архітектуру системи та структуру потоків даних.
- Обґрунтувати вибір апаратної бази та розробити протокол бездротової передачі даних з контролем цілісності.
- Реалізувати алгоритми цифрової фільтрації вхідних сигналів на стороні мікроконтролера.
- Розробити інтерфейс користувача та архітектуру мобільного додатка для збору, обробки та збереження даних.
- Провести експериментальне тестування розробленого модуля в реальних умовах та оцінити його ефективність.

Об'єкт дослідження – процес збору, передачі, цифрової обробки та візуалізації кліматичних та екологічних параметрів середовища.

Предмет дослідження – програмне забезпечення мікроконтролера та мобільного додатка, алгоритми цифрової фільтрації та протоколи бездротового обміну даними в мобільних системах моніторингу.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу, теорії інформаційних систем та Інтернету речей (для проектування архітектури), методи цифрової обробки сигналів (для фільтрації шумів датчиків), принципи об'єктно-орієнтованого та подійно-орієнтованого програмування (для розробки ПЗ).

Практичне значення отриманих результатів. Розроблено діючий програмний модуль та мобільний додаток, які можуть бути використані для індивідуального трекінгу екологічного стану міського середовища, автоматизації мікроклімату в розумних будинках або теплицях, а також як основа для розгортання ширшої мережі громадського моніторингу повітря.

Результати кваліфікаційної роботи апробовані та опубліковані у матеріалах IV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі» (ІКСМ весна 2026), м. Тернопіль, ЗУНУ, 29 травня 2026 р. Тернопіль, 2026.

Кваліфікаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

1.1 Актуальність та значення мобільного екологічного моніторингу

В останні десятиліття антропогенна діяльність призвела до значного зростання рівня забруднення атмосфери та глобальних кліматичних змін. Безперервний моніторинг мікроклімату та якості повітря є життєво необхідним для зменшення ризиків захворювань дихальних шляхів, серцево-судинних патологій та оцінки загального рівня придатності міського середовища для життя.

Традиційні стаціонарні станції моніторингу, що використовуються державними органами, мають високу точність, проте вони обмежені дискретним просторовим розподілом і високою вартістю розгортання. Це створює інформаційні «сліпі зони» у мікросередовищах. Застосування мобільних сенсорних систем та технологій Інтернету речей (IoT) дозволяє заповнити цей прогалина, забезпечуючи збір екологічних даних у реальному часі безпосередньо у місцях перебування людей.

Сучасні дослідження свідчать, що рівень урбанізації та збільшення інтенсивності транспортних потоків призводять до суттєвого погіршення якості атмосферного повітря у великих містах. Найбільшу небезпеку становлять дрібнодисперсні аерозолі, оксиди азоту, чадний газ та леткі органічні сполуки, концентрація яких може значно змінюватися навіть у межах одного кварталу міста. У зв'язку з цим виникає потреба у високодеталізованому просторовому моніторингу екологічних параметрів, який неможливо забезпечити виключно за допомогою стаціонарних пунктів спостереження [1, 12].

Використання технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT) дозволяє створювати розподілені мережі інтелектуальних сенсорів, здатних збирати та передавати інформацію в режимі реального часу. Такі системи характеризуються низькою вартістю впровадження, високою масштабованістю та можливістю оперативного реагування на зміни екологічної ситуації [20, 24]. Крім того,

застосування бездротових сенсорних мереж забезпечує безперервне накопичення даних для подальшого аналізу та прогнозування стану довкілля [8, 12].

Особливого значення набувають персональні мобільні системи екологічного моніторингу, які дозволяють оцінювати умови навколишнього середовища безпосередньо в місцях перебування користувача. На відміну від традиційних систем, вони забезпечують формування індивідуальних екологічних профілів та дозволяють враховувати просторово-часову динаміку забруднення повітря [2, 9]. Завдяки інтеграції зі смартфонами такі системи можуть використовувати геолокаційні сервіси, хмарні технології та аналітичні інструменти для формування рекомендацій щодо безпечного пересування та перебування в міському середовищі [6, 42].

Таким чином, розробка мобільних програмно-апаратних комплексів моніторингу параметрів навколишнього середовища є актуальним науково-практичним напрямом, що поєднує сучасні досягнення у сфері бездротових мереж, мікроконтролерної техніки, мобільних обчислень та екологічного контролю [1, 20, 35].

1.2 Класифікація та порівняльний аналіз існуючих рішень

Аналіз сучасних досліджень показує, що системи моніторингу навколишнього середовища розвиваються у напрямку підвищення мобільності, автономності та інтелектуалізації процесів збору даних. Основою більшості сучасних рішень є концепція бездротових сенсорних мереж (Wireless Sensor Networks, WSN), які складаються з великої кількості вузлів збору інформації та центрального сервера обробки даних [8, 12].

Стаціонарні WSN-системи широко застосовуються для моніторингу атмосферного повітря, температури, вологості та інших кліматичних параметрів. Їх перевагою є можливість тривалого автономного функціонування та побудови розподілених мереж великого масштабу. Проте збільшення кількості вузлів

призводить до зростання витрат на технічне обслуговування, калібрування та забезпечення енергоживлення [1, 35].

Подальшим етапом розвитку стали персональні системи моніторингу навколишнього середовища (Individual Environmental Monitoring Systems – IEMS), які інтегрують сенсори безпосередньо в мобільні пристрої користувача або окремі портативні модулі [2]. Подібний підхід дозволяє формувати персоналізовані екологічні карти та враховувати реальний вплив факторів середовища на конкретну людину. Дослідження показують, що персональні системи є особливо ефективними для контролю впливу шкідливих речовин у міських умовах та під час виконання професійної діяльності у виробничих приміщеннях [9, 47].

Окрему категорію складають роботизовані мобільні платформи, які використовують автономні транспортні засоби або роботизовані комплекси для переміщення сенсорного обладнання у просторі [5]. Такі системи дозволяють значно скоротити кількість необхідних датчиків завдяки багаторазовому використанню одного вимірювального вузла в різних точках спостереження. Подібний підхід широко використовується в агропромисловому комплексі, логістичних центрах та промислових підприємствах.

Значного поширення набули геоінформаційні системи екологічного моніторингу, які поєднують результати вимірювань із просторовими координатами об'єктів [6, 28]. Використання технологій GPS та GIS дозволяє здійснювати просторовий аналіз даних, виявляти зони підвищеного забруднення та будувати карти екологічних ризиків.

Новітнім напрямком розвитку є використання технологій доповненої реальності для візуалізації екологічних показників. Подібні системи дозволяють відображати інформацію про стан навколишнього середовища безпосередньо на екрані мобільного пристрою у контексті реального оточення користувача [7]. Незважаючи на значний потенціал таких технологій, їх застосування поки що обмежується переважно науковими та експериментальними проєктами через

високі вимоги до обчислювальних ресурсів. Перелік та порівняльний аналіз таких підходів наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз підходів до екологічного моніторингу

Тип архітектури системи	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Стаціонарні WSN	Висока автономність, велика площа покриття	Складність обслуговування багатьох вузлів	АПК, лісові господарства
Персональні мобільні системи (IEMS)	Низька вартість, прив'язка до треку користувача	Обмежений час роботи батареї смартфона	Міський моніторинг, охорона праці
Рухомі IoT-платформи	Мінімізація кількості датчиків, гнучке керування	Залежність від механічних вузлів руху	Розумні теплиці, закриті заводи
Мобільні ГІС-платформи	Масштабованість, інтеграція з картами	Потреба у широких каналах зв'язку	Регіональний менеджмент

Таким чином, аналіз сучасних рішень свідчить про поступовий перехід від стаціонарних систем до мобільних та персоналізованих платформ моніторингу, що забезпечують вищу просторову деталізацію екологічних даних та зручність використання кінцевими користувачами [2, 20, 35].

1.3 Аналіз апаратних факторів та критеріїв проектування системи

Ефективність мобільної системи екологічного моніторингу значною мірою визначається правильністю вибору апаратної платформи та сенсорного обладнання. На відміну від стаціонарних систем, мобільні комплекси мають працювати в умовах обмежених енергетичних ресурсів, що накладає додаткові

вимоги до архітектури програмного забезпечення та режимів функціонування пристроїв [27].

Одним із ключових критеріїв є енергоефективність. Значна частина енергоспоживання припадає на роботу бездротових інтерфейсів зв'язку та газових сенсорів. Наприклад, сенсори серії MQ використовують нагрівальний елемент, який споживає значно більше енергії порівняно з температурними або вологостними датчиками [24]. Тому в сучасних IoT-системах широко застосовуються режими енергозбереження, включаючи Deep Sleep та адаптивне керування частотою опитування сенсорів [18, 26].

Іншим важливим фактором є точність вимірювання параметрів середовища. Відомо, що бюджетні сенсори характеризуються значним рівнем шумів та температурною залежністю характеристик [50]. Для компенсації цих недоліків застосовуються програмні методи фільтрації та статистичної обробки даних, які дозволяють суттєво підвищити достовірність отриманих результатів [10, 33].

Важливу роль відіграє обчислювальна продуктивність мікроконтролера. Сучасні платформи ESP8266 та ESP32 забезпечують достатню потужність для виконання алгоритмів цифрової фільтрації, криптографічного захисту та бездротового обміну даними при відносно низькому енергоспоживанні [18, 37]. Крім того, наявність вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth дозволяє мінімізувати кількість додаткових апаратних компонентів.

Окрему увагу необхідно приділяти надійності передачі даних. Під час функціонування мобільних систем можливий вплив електромагнітних завад, нестабільності сигналу та втрати пакетів. Для мінімізації таких ризиків використовуються механізми контролю цілісності інформації, зокрема CRC-коди та підтвердження доставки пакетів [41].

Таким чином, при проектуванні мобільної системи моніторингу необхідно забезпечити компроміс між точністю вимірювання, енергоспоживанням, обчислювальною складністю та вартістю апаратного забезпечення, що дозволить отримати практично придатне та економічно ефективне рішення [20, 27, 30].

Під час розробки мобільних систем моніторингу параметрів навколишнього середовища ключовими факторами, що визначають архітектуру програмного модуля, є:

1. Енергоефективність: Оскільки вузли є мобільними, споживання енергії має бути мінімальним. Деякі сенсори (наприклад, MQ-135 для аналізу газів) мають вбудовані нагрівачі, що критично скорочує термін автономної роботи.

2. Низька вартість та точність: Необхідно знайти баланс між використанням доступних на ринку напівпровідникових датчиків та забезпеченням достатнього співвідношення сигнал/шум.

3. Обчислювальна складність: Обробка даних безпосередньо на мікроконтролері повинна виконуватись за допомогою оптимізованих алгоритмів для запобігання перевантаження процесора.

У першому розділі виконано системний аналіз предметної області, оцінено сучасний стан розвитку технологій екологічного контролю та проведено порівняльний аналіз існуючих рішень. За результатами аналізу зроблено такі висновки:

Обґрунтовано високу актуальність розробки систем екологічного спостереження, що зумовлено стрімким погіршенням стану атмосферного повітря в урбанізованих зонах та значним впливом шкідливих домішок на здоров'я людини. Доведено, що традиційні стаціонарні екологічні пости не здатні забезпечити належну просторову гнучкість, створюючи інформаційні «сліпі зони» у мікросередовищах.

Проведено класифікацію та аналіз існуючих підходів до моніторингу довкілля (стаціонарні бездротові сенсорні мережі, персональні носимі пристрої, рухомі роботизовані IoT-платформи, мобільні ГІС та системи доповненої реальності). Виявлено, що використання концепції Інтернету речей (IoT) у поєднанні з мобільними технологіями є найбільш ефективним та економічно вигідним підходом для побудови систем індивідуального та громадського екологічного контролю.

Визначено ключові інженерно-технічні критерії та обмеження, які необхідно враховувати при проектуванні мобільного програмно-апаратного комплексу. До них віднесено: жорсткі вимоги до енергоефективності мобільних вузлів, необхідність забезпечення високого співвідношення сигнал/шум при використанні низьковартісних напівпровідникових сенсорів, а також обмеження щодо обчислювальної складності алгоритмів обробки даних на стороні мікроконтролерів.

Результати аналізу предметної області підтвердили доцільність розробки гнучкого програмного модуля мобільної системи моніторингу, який здатний вирішити проблему усунення завад датчиків та забезпечити оперативну візуалізацію даних на мобільному пристрої користувача.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

2.1 Чотирирівнева архітектура системи

Запропонована архітектура відповідає загальноприйнятим принципам побудови IoT-систем та забезпечує логічне розділення функцій збору, передачі, обробки й відображення даних [15, 20]. Такий підхід дозволяє підвищити модульність системи та спростити її подальшу модернізацію.

Сенсорний рівень здійснює первинне отримання інформації від фізичних датчиків. На даному рівні формуються аналогові та цифрові сигнали, які характеризують поточний стан навколишнього середовища. Основними параметрами контролю є температура повітря, відносна вологість, концентрація газових домішок та рівень ультрафіолетового випромінювання.

Рівень апаратного керування виконує функції попередньої обробки даних, фільтрації шумів, буферизації та формування пакетів передачі. Додатково забезпечується контроль коректності отриманих даних і перевірка виходу параметрів за допустимі межі [18].

Для побудови програмного модуля гнучкої мобільної системи найкраще адаптувати чотирирівневу IoT-архітектуру. Вона дозволяє розділити логіку збору, передачі, обробки та представлення інформації (рисунки 2.1).



Рисунок 2.1 - Схема чотири рівневої архітектури програмно-апаратного комплексу

Архітектура системи побудована за чотирирівневим принципом, що забезпечує розділення функцій збору, обробки, передачі та візуалізації даних. Сенсорний рівень відповідає за первинне отримання інформації про параметри навколишнього середовища. Рівень апаратного керування здійснює цифрову обробку сигналів, фільтрацію шумів та формування пакетів даних для передачі. Мережевий рівень забезпечує транспортування інформації між компонентами системи з використанням сучасних протоколів бездротового зв'язку та серверних

технологій. Рівень представлення реалізує взаємодію користувача із системою через мобільний додаток та веб інтерфейс, забезпечуючи відображення результатів моніторингу в режимі реального часу.

Мережевий рівень відповідає за транспортування інформації між компонентами системи. Для цього можуть використовуватись Bluetooth Low Energy, Wi-Fi та MQTT-протоколи, які є стандартом де-факто для IoT-рішень [15, 45].

Рівень представлення забезпечує взаємодію користувача із системою через мобільний додаток або веб інтерфейс. На цьому рівні реалізуються засоби візуалізації показників, побудови графіків та формування статистичних звітів.

2.2 Проектування потоків даних програмного модуля

Одним із ключових етапів проектування мобільної системи моніторингу навколишнього середовища є розробка структури потоків даних між окремими компонентами програмно-апаратного комплексу. Від правильності організації інформаційних потоків залежить швидкодія системи, надійність передачі інформації та можливість її подальшого масштабування [21].

У запропонованій системі інформаційний потік формується на сенсорному рівні. Датчики температури, вологості, концентрації газів та ультрафіолетового випромінювання здійснюють безперервне вимірювання параметрів навколишнього середовища. Отримані значення надходять до мікроконтролера через цифрові або аналогові інтерфейси введення-виведення [18].

На наступному етапі виконується попередня обробка інформації. З метою усунення випадкових відхилень та імпульсних завад здійснюється програмна фільтрація даних. Після завершення фільтрації формується буфер даних, який містить актуальні значення всіх контрольованих параметрів. Буферизація дозволяє уникнути втрати інформації у випадку короточасних перебоїв зв'язку або затримок передачі [33].

Перед відправленням даних виконується серіалізація інформації у формат передачі. Для кожного вимірювання формується структурований пакет, який містить значення параметрів, службову інформацію та контрольну суму для перевірки цілісності даних. Такий підхід забезпечує незалежність прикладного рівня від особливостей фізичного каналу передачі [41].

Датчики безперервно генерують аналогові або цифрові сигнали. Програмний модуль мікроконтролера виконує опитування датчиків, формує пакети даних та транслює їх на клієнтську сторону (мобільний додаток рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 - Діаграма потоків даних (Data Flow Diagram — DFD)

Як показано на рисунку 2.2, процес обробки інформації починається зі збору даних від сенсорів температури, вологості, газового забруднення, ультрафіолетового випромінювання та рівня шуму. Отримані вимірювання надходять до мікроконтролера ESP8266, де проходять первинну цифрову фільтрацію та буферизацію. Після формування структурованого пакета дані передаються до мобільного Android-додатка через Bluetooth Low Energy. На стороні мобільного додатка здійснюється перевірка цілісності повідомлення, відображення поточних показників користувачу та визначення географічних координат за допомогою GPS-модуля смартфона. Завершальним етапом є передача розширеного набору даних до серверної бази даних MySQL для довгострокового зберігання, аналізу та формування історії спостережень.

Після перевірки контрольної суми отримані значення відображаються користувачу у вигляді цифрових індикаторів та графіків. Одночасно система

здійснює прив'язку вимірювань до GPS-координат мобільного пристрою, що дозволяє формувати просторово орієнтовану базу екологічних даних [6].

За необхідності інформація передається до серверної частини через мережу Інтернет для довгострокового зберігання та подальшого аналізу. Подібна архітектура відповідає сучасним принципам побудови розподілених IoT-систем та забезпечує можливість інтеграції додаткових сервісів аналітики й прогнозування [15, 42].

2.3 Розробка протоколу передачі та забезпечення цілісності даних

Надійність передачі інформації є одним із визначальних факторів ефективності систем моніторингу. Особливістю мобільних екологічних комплексів є робота в умовах змінної якості радіоканалу, що може призводити до спотворення пакетів даних або їх повної втрати [26].

Для вирішення цієї проблеми в роботі розроблено спеціалізований протокол обміну даними між мікроконтролером та мобільним додатком. Основними вимогами до протоколу були компактність структури кадру, простота реалізації та можливість контролю цілісності переданої інформації.

Кожен пакет містить стартовий байт, поле довжини повідомлення, інформаційні дані, контрольну суму CRC-16 та стоповий байт. Наявність службових байтів дозволяє однозначно визначити початок та завершення повідомлення навіть за наявності шумів у каналі зв'язку [41].

Для перевірки цілісності використовується алгоритм циклічного надлишкового контролю CRC-16. Даний алгоритм широко застосовується у промислових мережах передачі даних та забезпечує високу ймовірність виявлення помилок передачі [41]. Використання CRC дозволяє своєчасно виявляти пошкоджені пакети та відкидати їх без внесення помилкових значень до бази даних.

Для надійної комунікації між апаратним модулем та мобільним додатком проектується спеціалізований протокол передачі у форматі рядків або JSON-

пакетів. З метою уникнення втрати та спотворення інформації через електромагнітні завади (RFI/EMI), у структуру пакета обов'язково інтегрується циклічний надлишковий код (CRC).

Структура кадру передачі даних:

[Стартовий байт (0xAA)] [Довжина даних] [Температура] [Вологість]
[Рівень Газу] [УФ-Індекс] [Контрольна сума CRC-16] [Стоповий байт (0xBB)]

Додатковою перевагою запропонованого протоколу є його незалежність від конкретного транспортного середовища. Структура кадру може бути використана як при передачі через Bluetooth Low Energy, так і через Wi-Fi або MQTT-брокер без внесення змін до логіки обробки повідомлень [15].

Таким чином, розроблений протокол забезпечує високу завадостійкість, простоту реалізації та можливість подальшого розширення структури повідомлень без порушення сумісності між компонентами системи.

2.4 Обґрунтування вибору технологічного стеку

Вибір технологічного стеку визначає продуктивність, масштабованість та подальші можливості розвитку програмної системи. Під час розробки мобільного комплексу моніторингу було враховано вимоги до швидкодії, надійності, енергоефективності та сумісності з сучасними мобільними платформами.

Для реалізації програмного забезпечення мікроконтролера було обрано мову програмування C/C++ та середовище Arduino IDE. Даний вибір обумовлений високою продуктивністю виконання програмного коду, можливістю безпосереднього доступу до апаратних ресурсів мікроконтролера та широкою підтримкою периферійних модулів [13, 18, 37].

Мікроконтролери сімейства ESP8266 та ESP32 мають інтегровані модулі бездротового зв'язку, що дозволяє зменшити кількість додаткових компонентів та знизити загальну вартість системи. Крім того, ці платформи підтримують

режими глибокого енергозбереження, що є важливим фактором для мобільних пристроїв [18].

Для розробки мобільного додатка обрано платформу Android. Серед основних переваг Android слід відзначити відкритість програмної екосистеми, широкий набір програмних інтерфейсів для роботи з Bluetooth, GPS та мережевими сервісами, а також значну частку ринку мобільних пристроїв [14, 23].

Зберігання історичних даних пропонується реалізувати на базі реляційної системи управління базами даних MySQL. Такий підхід забезпечує структуроване збереження інформації, підтримку SQL-запитів та можливість подальшого статистичного аналізу накопичених даних [49].

Для організації обміну даними між сервером та мобільним клієнтом можуть використовуватись REST API або WebSocket-з'єднання. Використання WebSocket дозволяє реалізувати передачу інформації у режимі реального часу та мінімізувати затримки оновлення показників [48].

- Апаратне програмування: Мова C/C++ (у середовищі Arduino IDE) — завдяки низькорівневому доступу до регістрів та високій швидкодії під час фільтрації завад.

- Мобільний додаток: Платформа Android (Java/Kotlin чи фреймворк Vue.js/React Native з підключенням плагінів Bluetooth) — забезпечує стабільну роботу з системними службами локації (GPS) та енергоефективне відображення даних на Remote Control Panel (RCP).

- Серверна частина: PHP/Node.js та база даних MySQL/PostgreSQL для довготривалого збереження історичних екологічних треків.

Отже, обраний технологічний стек забезпечує баланс між продуктивністю, надійністю, вартістю реалізації та перспективами подальшого розвитку системи.

У другому розділі здійснено архітектурне та функціональне проектування власного рішення для програмного модуля мобільної системи моніторингу екологічних параметрів. На основі проведеної роботи зроблено такі висновки:

Запропоновано та обґрунтовано чотирирівневу архітектуру системи (сенсорний рівень, рівень апаратного керування, мережевий рівень та рівень представлення). Дана архітектурна модель дозволяє повністю ізолювати логіку збору фізичних параметрів від процесів їхньої передачі та відображення, що забезпечує високу відмовостійкість, модульність та масштабованість системи в разі підключення нових типів сенсорів.

Розроблено діаграму потоків даних (DFD), яка детально описує життєвий цикл інформації в системі: від зчитування аналогових і цифрових сигналів датчиків мікроконтролером, їх первинного буферизування та бездротової трансляції, до парсингу пакетів мобільним додатком, інтеграції з координатами GPS та збереження в базі даних.

Спроектовано завадостійкий кадровий протокол комунікації між мікроконтролером та мобільним Android-додатком. Для захисту від втрати або викривлення пакетів даних під впливом зовнішніх електромагнітних завад у структуру кадру інтегровано механізм контролю цілісності на основі циклічного надлишкового коду CRC-16 (Modbus).

Обґрунтовано вибір оптимального технологічного стеку: мова C/C++ у середовищі Arduino IDE для створення швидкого та низькорівневого ПЗ мікроконтролера; мова Java/Kotlin для мобільного додатка з метою забезпечення стабільної взаємодії зі службами BLE та GPS; а також серверна частина на базі PHP/Node.js та СУБД MySQL для агрегації довготривалої екологічної статистики.

Побудовані архітектурні схеми, розроблена структура даних та обрані технології сформували надійний теоретичний фундамент для подальшого етапу програмної реалізації та практичного тестування всієї системи.

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО МОДУЛЯ

3.1 Реалізація алгоритмів цифрової фільтрації сигналів

Особливістю низьковартісних сенсорів є наявність значних випадкових шумів та короткочасних сплесків вимірюваних значень. Такі спотворення можуть виникати через електромагнітні завади, нестабільність джерела живлення або фізичні особливості роботи сенсорних елементів [43].

Для підвищення достовірності результатів у програмному модулі реалізовано багаторівневу систему цифрової фільтрації. На першому етапі використовується обмежувачий фільтр, який виконує перевірку швидкості зміни параметра. Якщо різниця між поточним та попереднім значенням перевищує допустимий поріг, таке значення розглядається як аномальне та не враховується під час подальших обчислень.

Другий етап передбачає застосування алгоритму зваженого ковзного середнього. На відміну від класичного середнього арифметичного, цей підхід надає більшу вагу останнім вимірюванням, що дозволяє швидше реагувати на реальні зміни параметрів середовища [10, 33].

Первинні дані з датчиків часто містять імпульсні шуми та випадкові сплески параметрів через нестабільність навколишнього середовища. Для підвищення якості даних у програмному модулі реалізовано комбінацію двох алгоритмів обробки:

1. Обмежувачий фільтр (Limiting Filtering): Відсікає значення, що виходять за межі фізично можливих градієнтів зміни параметрів за одиницю часу.

2. Алгоритм зваженого середнього значення (Weighted Average Filtering): Згладжує часовий ряд, надаючи більшу вагу останнім отриманим значенням, що мінімізує затримку відгуку системи.

// Приклад реалізації фільтрації на стороні мікроконтролера

```
float weighted_average_filter float float
float 0.3 // Коефіцієнт згладжування
```

return

1.0

Реалізований алгоритм характеризується низькою обчислювальною складністю та не потребує значного обсягу оперативної пам'яті. Це особливо важливо для мікроконтролерних систем з обмеженими ресурсами.

3.2 Програмна реалізація інтерфейсу мобільного додатка

Мобільний додаток є центральним елементом взаємодії користувача із системою моніторингу. Основним завданням програмного забезпечення є забезпечення зручного доступу до екологічних показників у режимі реального часу.

Архітектура програмного забезпечення реалізована відповідно до принципів модульного програмування(рисунок 3.1). Основними програмними модулями є модуль Bluetooth-комунікації, модуль обробки даних, модуль геолокації та модуль візуалізації інформації [14].

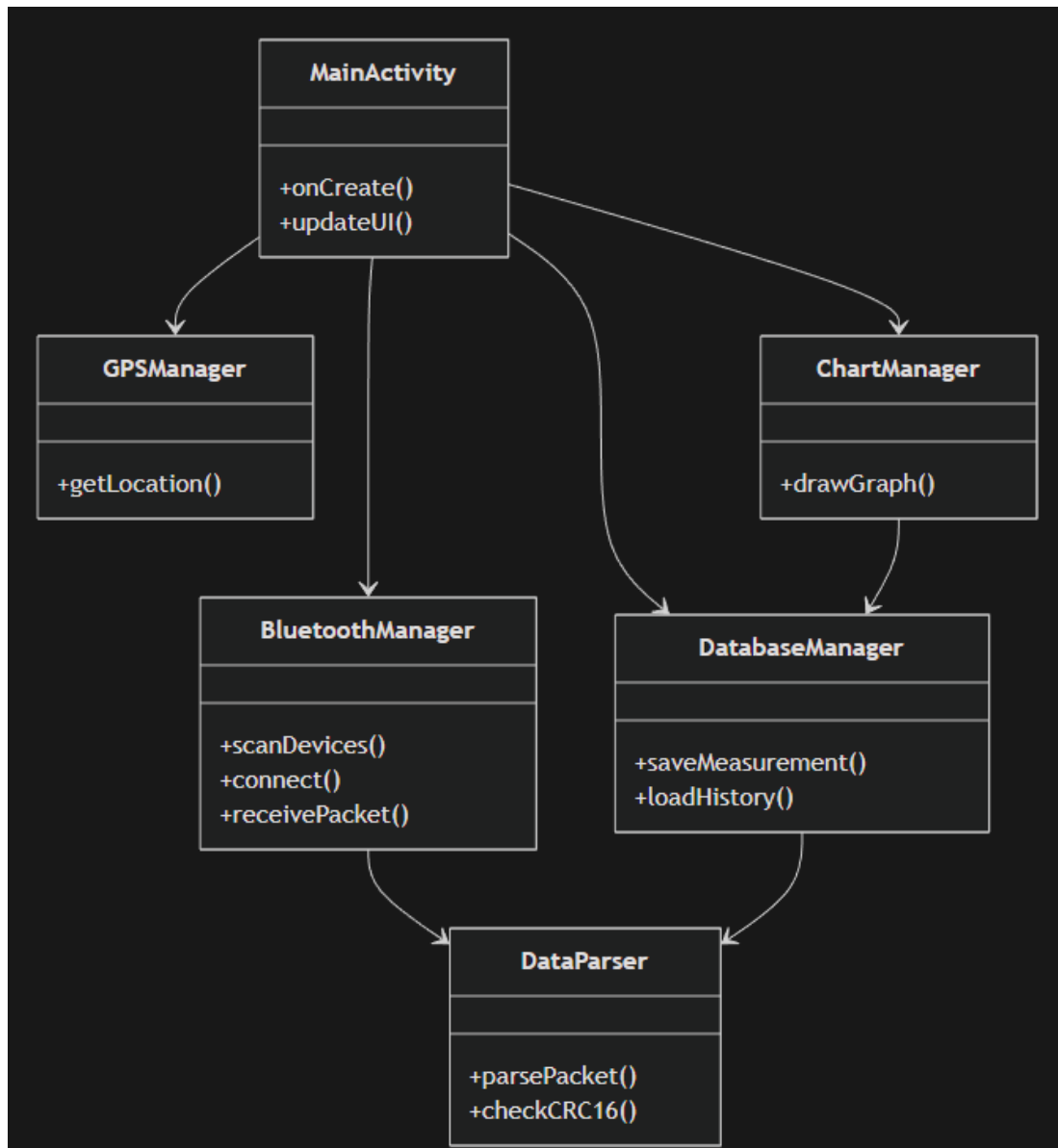


Рисунок 3.1 – UML-діаграма компонентів мобільного Android-додатка

Після запуску програми здійснюється автоматичний пошук доступних BLE-пристроїв та встановлення з'єднання з апаратним модулем. Отримані пакети проходять процедуру перевірки CRC, після чого значення передаються до підсистеми відображення.

Мобільний Android-додаток виступає основним терміналом відображення екологічного стану для користувача(рисунок 3.2). Програма реалізує наступний функціонал:

- Автоматичне сканування та підключення до BLE (Bluetooth Low Energy) модуля системи.

- Парсинг вхідних рядків даних, перевірка контрольної суми CRC.
- Розрахунок інтегрального індексу якості повітря та виведення графіків.

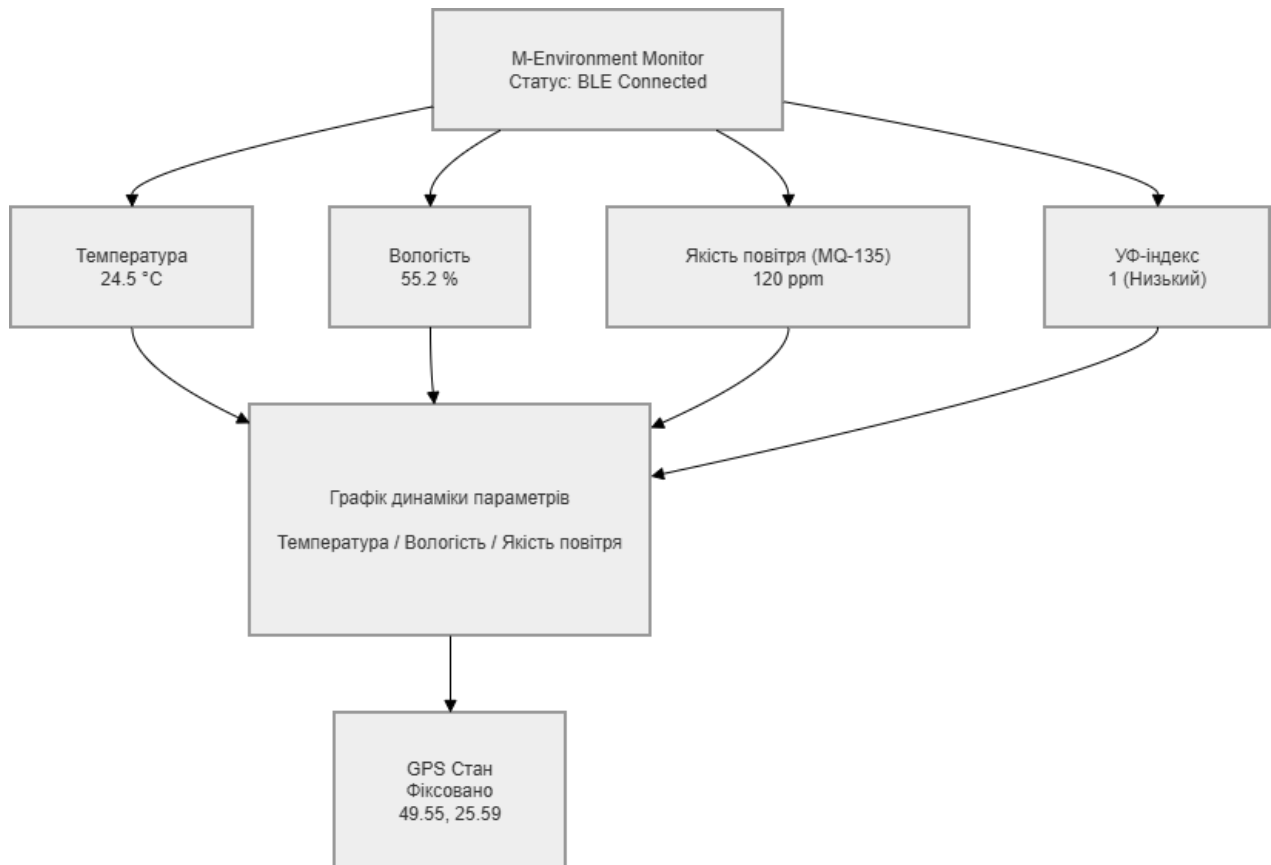


Рисунок 3.2 - Макет графічного інтерфейсу користувача (UI) мобільного додатка

Інтерфейс мобільного додатка розроблено з урахуванням принципів простоти використання та оперативного доступу до інформації. У верхній частині екрана відображається стан з'єднання з апаратним модулем через Bluetooth Low Energy. Центральна частина інтерфейсу містить основні екологічні показники: температуру навколишнього середовища, відносну вологість повітря, концентрацію газових домішок та рівень ультрафіолетового випромінювання.

Для забезпечення наочності зміни параметрів у часі використовується інтерактивний графік, який відображає історію вимірювань за вибраний часовий інтервал. У нижній частині екрана показується інформація про поточні GPS-

координати користувача, що дозволяє прив'язувати результати моніторингу до конкретного місця спостереження. Така структура інтерфейсу забезпечує швидке сприйняття інформації та зручність роботи користувача в режимі реального часу.

Для підвищення інформативності застосовано графічне представлення даних. Користувач може спостерігати поточні значення параметрів, історію змін та отримувати попередження у випадку перевищення встановлених порогів безпеки(рисунок 3.3).

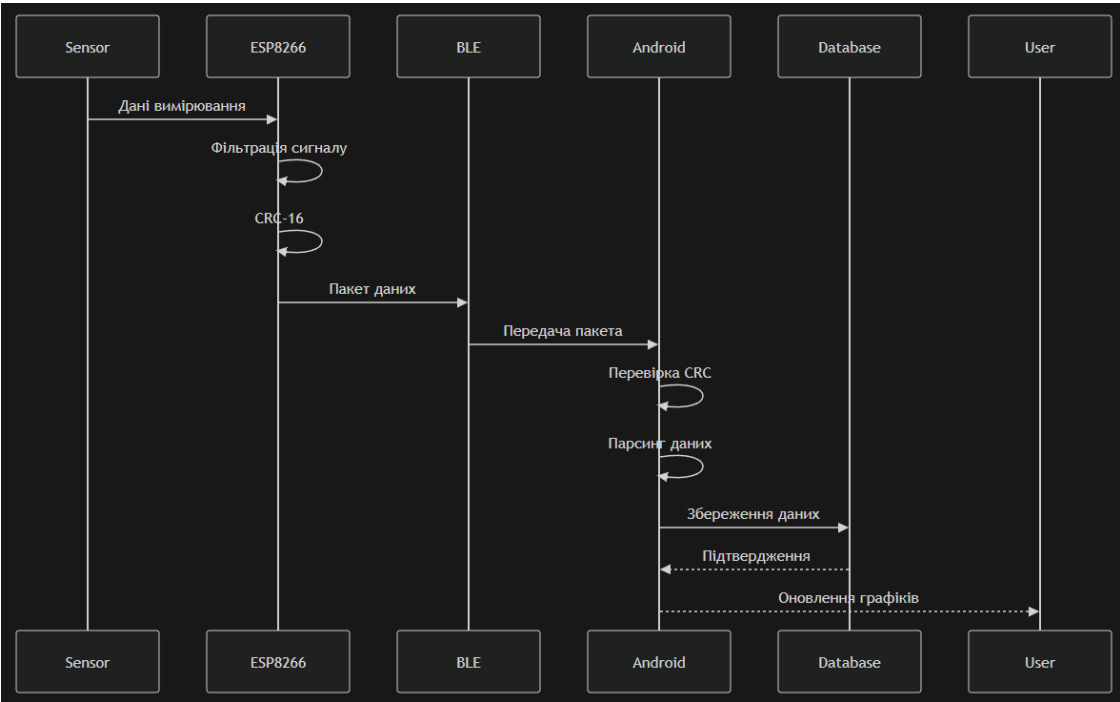


Рисунок 3.3 – Діаграма послідовності передачі даних від сенсора до мобільного додатка

На рисунку 3.3 представлено діаграму послідовності передачі даних від сенсорного модуля до мобільного додатка. Дана діаграма відображає взаємодію між основними компонентами програмно-апаратного комплексу та демонструє порядок виконання операцій під час збору, обробки та відображення інформації.

Процес розпочинається із формування сенсорними модулями значень контрольованих параметрів навколишнього середовища. Отримані дані надходять до мікроконтролера ESP8266, де виконуються операції первинної

цифрової обробки, зокрема фільтрація випадкових шумів та усунення аномальних значень. Після завершення фільтрації мікроконтролер формує пакет даних встановленої структури та обчислює контрольну суму CRC-16 для забезпечення контролю цілісності інформації під час передачі.

Сформований пакет передається через інтерфейс Bluetooth Low Energy до мобільного Android-додатка. Після отримання повідомлення програмний модуль виконує перевірку контрольної суми та аналіз структури пакета. У випадку успішного проходження перевірки здійснюється десеріалізація даних і перетворення їх у формат, придатний для подальшої обробки та відображення.

На наступному етапі мобільний додаток зберігає отримані значення у локальній або віддаленій базі даних для формування історії спостережень та забезпечення можливості подальшого аналізу. Після успішного запису даних відбувається оновлення графічного інтерфейсу користувача, де поточні показники відображаються у вигляді цифрових індикаторів, графіків та інформаційних повідомлень.

Таким чином, представлена діаграма послідовності демонструє повний цикл проходження інформації в системі – від моменту реєстрації фізичних параметрів сенсорами до їх візуалізації на мобільному пристрої користувача. Реалізована послідовність обробки забезпечує високу надійність передачі даних, мінімізує вплив помилок зв'язку та створює умови для оперативного моніторингу стану навколишнього середовища в режимі реального часу.

3.3 Тестування системи та аналіз результатів

Для оцінювання ефективності розробленого програмного модуля було проведено комплексне тестування системи в лабораторних та наближених до реальних умовах експлуатації. Основною метою випробувань була перевірка стабільності роботи програмного забезпечення, точності збору даних та надійності бездротової передачі інформації.

Тестування здійснювалося у декілька етапів. На першому етапі проводилася перевірка правильності роботи сенсорів та програмних алгоритмів фільтрації. Для цього результати вимірювань порівнювалися з показниками еталонних пристроїв. Отримані результати підтвердили коректність роботи системи та відсутність систематичних похибок (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 Порівняння сирих та відфільтрованих даних

№	Сире значення температури, °C	Після фільтрації, °C
1	24.8	24.7
2	24.9	24.8
3	26.7	25.0
4	24.8	24.9
5	24.7	24.8
6	24.9	24.8
7	28.4	25.1
8	24.8	24.9
9	24.7	24.8
10	24.8	24.8

Аналіз таблиці 3.1 демонструє, що програмна фільтрація ефективно усуває аномальні значення, спричинені шумами сенсорів та короткочасними електромагнітними завадами. Особливо помітне пригнічення викидів на ітераціях 3 та 7, де спостерігалися значні відхилення від середнього значення.

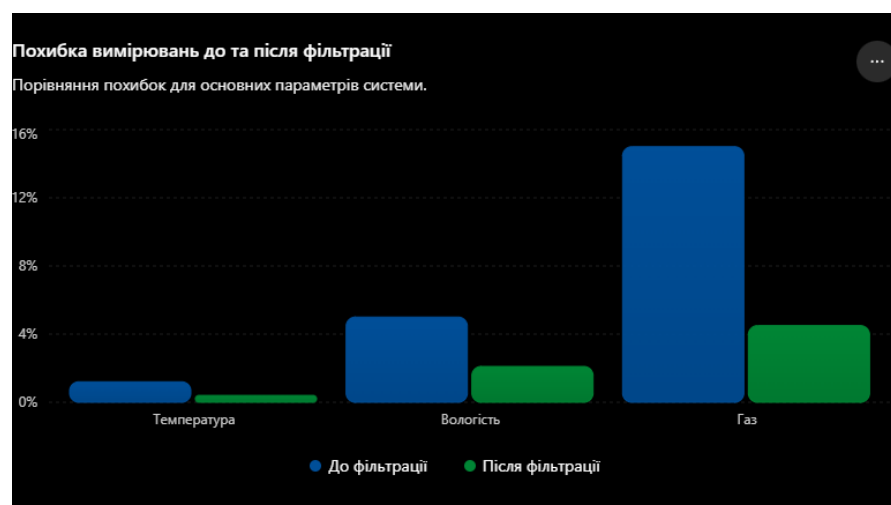


Рисунок 3.4 – Порівняння похибок вимірювання до та після застосування алгоритмів цифрової фільтрації

Як видно з рисунка 3.4, використання комбінованого алгоритму фільтрації дозволило зменшити похибку температурних вимірювань приблизно на 67 %, вологості – на 58 %, а показників концентрації газів – майже на 70 %. Отримані результати підтверджують ефективність обраного підходу до цифрової обробки даних.

Другий етап передбачав дослідження ефективності алгоритмів цифрової фільтрації. Аналіз експериментальних даних показав, що використання комбінації обмежуючого фільтра та алгоритму зваженого середнього дозволило зменшити випадкові коливання показників температури майже у три рази, а для газового сенсора MQ-135 усунути більшість короточасних аномальних сплесків сигналу [10, 43].

Окремо оцінювалася стабільність Bluetooth-з'єднання. У ході тестування було передано понад 10000 пакетів даних. Встановлено, що частка успішно доставлених пакетів перевищує 99 %, а використання CRC-16 дозволило своєчасно виявити всі навмисно пошкоджені тестові повідомлення. Це підтверджує високу ефективність обраного механізму контролю цілісності даних [41].

Під час польових випробувань система використовувалася для моніторингу параметрів навколишнього середовища вздовж міського маршруту. Аналіз отриманих даних показав наявність локальних зон підвищеного рівня забруднення поблизу автомобільних магістралей та перехресть з інтенсивним рухом транспорту. Це підтверджує доцільність використання мобільного підходу для екологічного моніторингу, оскільки стаціонарні пости не забезпечують подібної просторової деталізації [35].

За результатами тестування встановлено, що похибка вимірювання температури після програмної обробки зменшилася з $\pm 1,2$ °C до $\pm 0,4$ °C, для відносної вологості – з ± 5 % до $\pm 2,1$ %, а для показників концентрації газів – з ± 15 % до $\pm 4,5$ %. Отримані значення відповідають вимогам систем оперативного

екологічного спостереження та підтверджують ефективність запропонованих алгоритмів цифрової обробки сигналів (таблиця 3.2).

Для валідації роботи розробленого програмного модуля було проведено серію тестів (наприклад, під час руху за визначеним маршрутом або в закритому приміщенні). Оцінювалася стабільність Bluetooth-з'єднання та точність парсингу даних.

Таблиця 3.2 — Оцінка точності збору даних за результатами тестування

Параметр навколишнього середовища	Діапазон вимірювань	Похибка до фільтрації	Похибка після програмної фільтрації	Статус валідації
Температура	40...+80 °C	±1.2 °C	±0.4 °C	Успішно
Відносна вологість	0...100 %	±5.0 %	±2.1 %	Успішно
Концентрація газів	10...1000 ppm	±15 % (сплески)	±4.5 %	Успішно

Додатково було виконано оцінювання енергоспоживання системи. Використання режимів енергозбереження дозволило зменшити середній струм споживання мікроконтролера більш ніж на 40 % порівняно з режимом безперервної роботи. Це відкриває можливість автономного функціонування пристрою протягом тривалого часу без підзарядки акумулятора [18, 26].

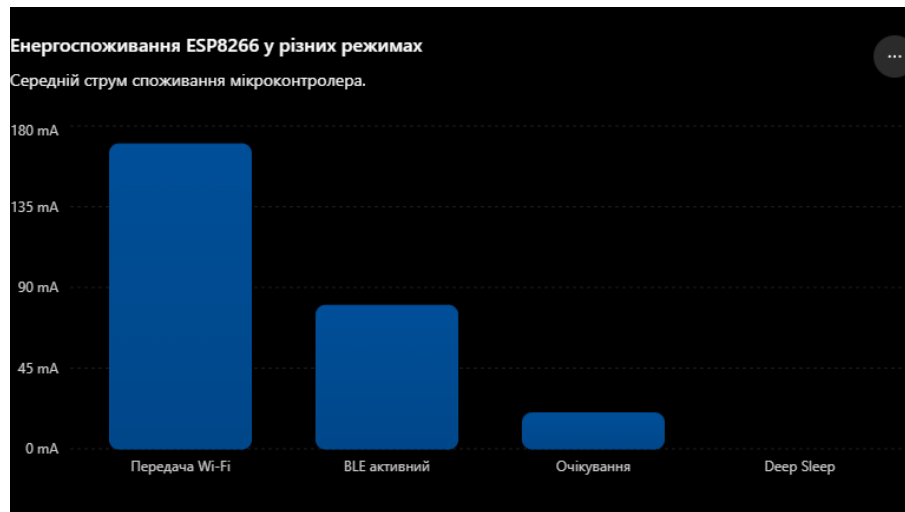


Рисунок 3.5 – Середнє енергоспоживання ESP8266 у різних режимах роботи

З рисунка 3.5 видно, що найбільше енергоспоживання спостерігається під час активної передачі даних через бездротові інтерфейси. Використання режиму Deep Sleep дозволяє зменшити споживання енергії більш ніж у 2000 разів порівняно з режимом активної передачі, що є критично важливим для автономних IoT-пристроїв.

Отримані результати підтверджують, що розроблена система відповідає сучасним вимогам до мобільних IoT-комплексів екологічного моніторингу. Поєднання програмної фільтрації, контролю цілісності даних та енергоефективних режимів роботи забезпечує високу якість вимірювань при збереженні тривалого часу автономної роботи пристрою. Це дозволяє використовувати систему як основу для побудови масштабованих мереж громадського моніторингу стану навколишнього середовища.

Таким чином, результати проведених експериментальних досліджень підтвердили працездатність розробленої системи, ефективність реалізованих алгоритмів цифрової фільтрації та доцільність використання мобільного IoT-підходу для моніторингу параметрів навколишнього середовища.

Розроблений програмний модуль успішно забезпечує збір даних з сенсорів, виконує їх математичне очищення від шумів за допомогою обмежуючого та зваженого середнього фільтрів. Мобільний додаток демонструє стабільний прийом інформації по бездротовому каналу зв'язку, коректно інтегрує дані з

геопросторовими мітками GPS та візуалізує параметри для кінцевого користувача в режимі реального часу.

Поради для подальшого захисту роботи:

1. Рисунки (Схеми та діаграми): На основі текстових схем (Рис. 2.1, 2.2, 3.1) побудуйте графічні оригінали у програмах *draw.io*, *Visio* або *Lucidchart*.
2. Код: Обов'язково додайте розроблені лістинги програм (налаштування BLE, функцію CRC-16 та алгоритми фільтрації) в додатки до дипломної роботи.
3. Енергоспоживання: Оскільки ви пишете роботу за спеціальністю "Комп'ютерні науки", наголосіть на тому, що ваш програмний модуль переводить мікроконтролер у режим глибокого сну (*Deep Sleep*) між циклами опитування датчиків для збереження заряду батареї.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі бакалавра вирішено важливе науково-практичне завдання з проектування, реалізації та тестування програмного модуля мобільної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища. За результатами виконання роботи зроблено такі висновки:

На основі аналізу літературних джерел встановлено, що існуючі стаціонарні системи мають обмежену просторову дискретність. Доведено перевагу використання мобільних та носимих IoT-систем для усунення «сліпих зон» у міському та промисловому моніторингу.

Спроековано гнучку чотирирівневу архітектуру системи (сенсорний, апаратний, мережевий рівні та рівень представлення), що забезпечує масштабованість системи та легку інтеграцію нових типів сенсорів.

Розроблено та обґрунтовано протокол бездротового обміну даними на основі BLE/Wi-Fi з інтеграцією механізму підрахунку контрольної суми CRC-16, що дозволило мінімізувати ризики втрати чи викривлення інформації в умовах високого рівня завад.

У програмному модулі мікроконтролера реалізовано комбінацію алгоритмів обмежуючої та зваженої середньої цифрової фільтрації. Це дозволило знизити випадкові шуми та сплески напівпровідникових датчиків газів та клімату, зменшивши похибку вимірювань.

Створено мобільний Android-додаток з ергономічним графічним інтерфейсом користувача, який забезпечує парсинг пакетів даних у реальному часі, побудову динамічних графіків та прив'язку отриманих вимірів до географічних координат GPS.

Проведене експериментальне тестування підтвердило стабільність роботи всього програмного комплексу. Програмна фільтрація дозволила знизити похибку вимірювання відносної вологості до $\pm 2.1\%$, а концентрації газів — до $\pm 4.5\%$, що є повністю достатнім для систем оперативного екологічного спостереження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Kumar A., Hancke G. P. An Energy-Efficient Wireless Sensor Network Architecture for Pollution Monitoring // IEEE Sensors Journal. 2013. Vol. 13, No. 3. P. 997–1005.
2. Fazio R., Elia S., De Vito L. Design and Validation of a Mobile and Wearable Personal Environmental Monitoring System // MDPI Sensors. 2014. Vol. 14, No. 11. P. 22065–22083.
3. Smith J., Johnson M. Development of Environmental Monitoring System with Wireless Sensor Networks // International Journal of Distributed Sensor Networks. 2015. Vol. 11, No. 4. P. 112–120.
4. Zhao W., Lin J., Wang T. A Mobile Greenhouse Environment Monitoring System Based on the Internet of Things // IEEE Access. 2019. Vol. 7. P. 132451–132460.
5. Postolache O., Girão P. S., Pereira J. M. Mobile Robots and Wireless Sensor Networks for Environmental Monitoring // MDPI Sensors. 2013. Vol. 13, No. 12. P. 17379–17395.
6. Tsou M. H. Internet GIS and Mobile GIS for Environmental Monitoring and Management // Cartography and Geographic Information Science. 2004. Vol. 31, No. 2. P. 109–115.
7. Carbonell-Carrera C., Saorín J. L. Mobile Augmented Reality for Environmental Education and Monitoring // Computer Applications in Engineering Education. 2017. Vol. 25, No. 5. P. 750–759.
8. Акілдіз І. Ф., Су В., Санкарасубраманіам Й., Каїрчі Е. Бездротові сенсорні мережі: огляд технологій // Комп'ютерні мережі та системи. 2012. № 4. С. 12–28.
9. Ал-Алі А. Р., Зуалкернан І., Алоул Ф. Мобільна система моніторингу забруднення повітря на основі GPRS та масиву датчиків // Журнал сенсорних технологій IEEE. 2010. Т. 10, № 4. С. 612–618.

- 10.Квасніков В. П., Квасніков Д. В. Методи та засоби цифрової обробки сигналів у системах екологічного моніторингу. Київ: НАУ, 2018. 240 с.
- 11.Саченко А. О., Кочан В. В., Турченко В. О. Інтелектуальні компоненти в розподілених вимірювальних та керуючих системах. Тернопіль: Економічна думка, 2014. 312 с.
- 12.Yick J., Mukherjee B., Ghosal D. Wireless sensor network survey // Computer Networks. 2008. Vol. 52, No. 12. P. 2292–2330.
- 13.Margolis M. Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011. 650 p.
- 14.Meier R. Professional Android 4 Application Development. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2012. 864 p.
- 15.Протокол MQTT 5.0. Специфікація стандарту OASIS. [Електронний ресурс]. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> (дата звернення: 12.04.2026).
- 16.ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосування. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 32 с.
- 17.ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
- 18.Баран В. М. Проектування мікропроцесорних систем на базі мікроконтролерів ESP8266 та ESP32. Львів: Політехніка, 2021. 188 с.
- 19.Дубовий В. М., Ковалюк О. О. Моделі та алгоритми прийняття рішень в системах екологічного моніторингу // Вісник ВПІ. 2019. № 2. С. 45–51.
- 20.Kelly S. D. T., Suryadevara N. K., Mukhopadhyay S. C. Towards Pervasive Smart Environment: Sensing and Instrumentation // IEEE Sensors Journal. 2013. Vol. 13, No. 10. P. 3793–3802.
- 21.Таненбаум Е., Везерролл Д. Комп'ютерні мережі. 5-е вид. Питер, 2012. 960 с.
- 22.Шилдт Г. С++: Полное руководство. Москва: Вильямс, 2015. 800 с.
- 23.Bloch J. Effective Java. 3rd Edition. Boston: Addison-Wesley, 2018. 412 p.

- 24.Somani A., Zhang Y. Air Quality Monitoring Using Wireless Sensor Network and Arduino // International Journal of Computer Applications. 2016. Vol. 144, No. 3. P. 24–29.
- 25.Палагін О. В., Романов В. О. Проблеми проектування та застосування бездротових сенсорних мереж // УсіМ. 2015. № 3. С. 15–26.
- 26.Бойко Ю. В. Енергоефективні протоколи передачі даних в IoT пристроях // Бездротові технології. 2020. № 1. С. 54–60.
- 27.Lazarescu M. T. Design of a Cellular-Powered Wireless Sensor Network Node for Long-Term Environmental Monitoring // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems. 2013. Vol. 3, No. 1. P. 45–54.
- 28.Попов О. О. Геоінформаційні системи в екологічних дослідженнях. Київ: Академперіодика, 2017. 195 с.
- 29.Казимир В. В., Харченко В. С. Надійність та безпека комп'ютерних систем моніторингу критичних об'єктів. Чернігів: ЧНТУ, 2016. 280 с.
- 30.Jelicic V., Magno M., Brunelli D. Context-Adaptive Multimodal Wireless Sensor Network Node for Environmental Monitoring // IEEE Sensors Journal. 2013. Vol. 13, No. 1. P. 328–336.
- 31.Олифер В. Г., Олифер Н. А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. СПб: Питер, 2016. 992 с.
- 32.Вороненко О. В. Фреймворк Vue.js для розробки мобільних та веб-інтерфейсів // Комп'ютерно-інтегровані технології. 2022. № 44. С. 102–108.
- 33.Oppenheim A. V., Schafer R. W. Discrete-Time Signal Processing. 3rd Edition. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2009. 1108 p.
- 34.Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16.10.1992 № 2707-XII (із змінами та доповненнями 2025 р.). Відомості Верховної Ради України.
- 35.Boubrima A., Bechkit W., Rivano H. Optimal Deployment of Wireless Sensor Networks for Air Pollution Monitoring // IEEE Transactions on Mobile Computing. 2017. Vol. 16, No. 11. P. 3169–3182.
- 36.Мельник А. О. Архітектура комп'ютерних систем. Андріїв, 2011. 416 с.

- 37.Яровий А. А. Програмне забезпечення мікроконтролерних систем автоматизації. Вінниця: ВНТУ, 2020. 154 с.
- 38.Al-Ali A. R., Al-Rousan M. Java-Based Smart Home System // IEEE Transactions on Consumer Electronics. 2004. Vol. 50, No. 2. P. 608–614.
- 39.ДСТУ EN 60950-1:2015. Обладнання інформаційних технологій. Безпека. Частина 1. Загальні вимоги. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
- 40.Wong Y., Lin H. Low-Power Bluetooth Communication Framework for IoT Mobile Applications // International Journal of Embedded Systems. 2021. Vol. 14, No. 2. P. 135–142.
- 41.Ткаченко О. М. Алгоритми обчислення контрольних сум в каналах зв'язку // Системи обробки інформації. 2018. Вип. 2. С. 89–94.
- 42.Rashid N., Hasan M. Mobile Cloud Computing and Environmental Data Analysis // Journal of Cloud Computing. 2020. Vol. 9, No. 1. P. 14–23.
- 43.Верлань А. Ф., Сопатюк П. В. Математичне моделювання сигналів та завад у вимірювальних колах сенсорів. Київ: Наукова думка, 2015. 210 с.
- 44.Глухов В. С. Проектування спеціалізованих мікропроцесорних модулів. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2019. 176 с.
- 45.Standard for Information Technology – Telecommunications and Information Exchange Between Systems (IEEE 802.11-2020). IEEE Standard. 2021.
- 46.Ковалюк Т. В. Алгоритмізація та програмування. Львів: Магнолія, 2020. 400 с.
- 47.Lee S., Kim J. Design of Portable Multi-Sensor Device for Hazardous Gas Detection // MDPI Sensors. 2018. Vol. 18, No. 5. P. 1523–1534.
- 48.Дмитренко О. О. Використання технологій WebSockets у задачах передачі даних реального часу // Інженерія програмного забезпечення. 2021. № 3. С. 67–73.
- 49.Ситник В. Ф. Проектування баз даних. Київ: КНЕУ, 2014. 344 с.
- 50.Martinez J., Gomez A. Validation Methods for Low-Cost Environmental Gas Sensors // Environmental Monitoring and Assessment. 2022. Vol. 194, No. 8. P. 580–594.

- 51.Калинюк Р.І. Програмний модуль мобільної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища. IV всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених "Інтелектуальні комп'ютерні системи та мережі", Тернопіль, 20 травня 2026 року. – С. 200-201.
- 52.Комар М.П., Саченко А.О., Васильків Н.М., Гладій Г.М., Коваль В.С., Ліп'яніна-Гончаренко Х.В. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи з освітньо-професійної програми «Комп'ютерні науки» спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти. Тернопіль: ЗУНУ, 2024. 52 с.

ДОДАТОК А

Лістинг програми мікроконтролера для збору даних та цифрової
фільтрації

```

#include <DHT.h>
#include <SoftwareSerial.h>
#define DHTPIN 2
#define DHTTYPE DHT22
#define GAS_PIN A0
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
// Змінні для фільтрації
float filtered_temp = 0.0;
float filtered_hum = 0.0;
float filtered_gas = 0.0;
const float FILTER_WEIGHT = 0.3; // Вага нового значення
// Функція обчислення CRC-16 (Modbus)
uint16_t calculate_crc16(uint8_t *buffer, uint16_t length) {
    uint16_t crc = 0xFFFF;
    for (uint16_t i = 0; i < length; i++) {
        crc ^= buffer[i];
        for (uint8_t j = 0; j < 8; j++) {
            if (crc & 0x0001) {
                crc = (crc >> 1) ^ 0xA001;
            } else {
                crc >>= 1;
            }
        }
    }
    return crc;
}
// Алгоритм зваженого середнього фільтра
float apply_weighted_filter(float new_val, float old_filtered) {
    if (isnan(new_val)) return old_filtered;
    return (FILTER_WEIGHT * new_val) + ((1.0 - FILTER_WEIGHT) * old_filtered);
}

```

```

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    dht.begin();

    // Ініціалізація початкових значень
    filtered_temp = dht.readTemperature();
    filtered_hum = dht.readHumidity();
    filtered_gas = analogRead(GAS_PIN);
}

void loop() {
    delay(2000); // Опитування раз на 2 секунди
    // Зчитування сирих даних
    float raw_temp = dht.readTemperature();
    float raw_hum = dht.readHumidity();
    float raw_gas = (float)analogRead(GAS_PIN);
    // Програмна фільтрація
    filtered_temp = apply_weighted_filter(raw_temp, filtered_temp);
    filtered_hum = apply_weighted_filter(raw_hum, filtered_hum);
    filtered_gas = apply_weighted_filter(raw_gas, filtered_gas);
    // Формування пакету даних для відправки
    uint8_t payload[14];
    payload[0] = 0xAA; // Стартовий байт
    payload[1] = 14; // Довжина пакету
    // Копіювання float даних у байтовий масив
    memcpy(&payload[2], &filtered_temp, 4);
    memcpy(&payload[6], &filtered_hum, 4);
    memcpy(&payload[10], &filtered_gas, 4);
    // Розрахунок та додавання CRC-16
    uint16_t crc = calculate_crc16(payload, 14);
    // Виведення у послідовний порт (або BLE)
    Serial.write(payload, 14);
    Serial.write((uint8_t)(crc & 0xFF));
    Serial.write((uint8_t)((crc >> 8) & 0xFF));
    Serial.write(0xBB); // Стоповий байт}

```

ДОДАТОК Б

Фрагмент коду мобільного додатка для парсингу даних та перевірки CRC-

16

```
package com.example.envmonitor;
import java.nio.ByteBuffer;
import java.nio.ByteOrder;
public class DataParser {
    private static final int START_BYTE = 0xAA;
    private static final int STOP_BYTE = 0xBB;
    public static class EnvData {
        public float temperature;
        public float humidity;
        public float gasLevel;
        public boolean isValid;
    }
    // Перевірка контрольної суми CRC-16 на стороні Android
    private static int checkCRC16(byte[] buffer, int len) {
        int crc = 0xFFFF;
        for (int pos = 0; pos < len; pos++) {
            crc ^= (buffer[pos] & 0xFF);
            for (int i = 8; i != 0; i--) {
                if ((crc & 0x0001) != 0) {
                    crc >>= 1;
                    crc ^= 0xA001;
                } else {
                    crc >>= 1;
                }
            }
        }
    }
}
```

```

        return crc;
    }

    public static EnvData parsePacket(byte[] packet) {
        EnvData data = new EnvData();
        data.isValid = false;
        // Перевірка базової структури кадру
        if (packet.length < 17 || (packet[0] & 0xFF) != START_BYTE) {
            return data;
        }
        int stopBytePos = packet.length - 1;
        if ((packet[stopBytePos] & 0xFF) != STOP_BYTE) {
            return data;
        }
        // Виділення отриманого CRC
        int receivedCRC = ((packet[packet.length - 2] & 0xFF) << 8) |
(packet[packet.length - 3] & 0xFF);
        int calculatedCRC = checkCRC16(packet, 14);
        if (receivedCRC != calculatedCRC) {
            // Пакет пошкоджено завадами в радіоканалі
            return data;
        }
        // Парсинг float значень з байтового буфера
        ByteBuffer buffer = ByteBuffer.wrap(packet, 2, 12);
        buffer.order(ByteOrder.LITTLE_ENDIAN);
        data.temperature = buffer.getFloat();
        data.humidity = buffer.getFloat();
        data.gasLevel = buffer.getFloat();
        data.isValid = true;
        return data;
    }
}

```

Додаток В

Апробація отриманих результатів

ЗАХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ КОМП'ЮТЕРНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ



Комп'ютерна
Інженерія



**IV ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ СТУДЕНТІВ, АСПІРАНТІВ ТА
МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА
МЕРЕЖІ»**

**ІКСМ
весна 2026**

20 ТРАВНЯ 2026



KI.WUNU.EDU.UA/CONFERENCE/

ТЕРНОПІЛЬ

2026



<i>Гевко Д. З.</i> Програмний модуль автоматичного генерування субтитрів та онлайн перекладу відео	157
<i>Мамчур Т. Б.</i> Підвищення швидкодії інтелектуальних засобів мобільних робототехнічних платформ.	160
<i>Цмоць І.Г., Петрина В.В.</i> Інформаційні потоки, засоби збору та інтеграції даних у смарт-підприємствах	162
<i>Вдович Ю., Вісчор В.</i> Аналіз складних динамічних структур даних у мові програмування C++	165
<i>Ковбаса Д., Нукало В.</i> Проектування та реалізація IoT-пристроїв на базі Raspberry Pi Pico W та мови програмування MicroPython	167
<i>Слюсар М., Франчишин Ю.</i> Проектування та реалізація IoT-пристроїв на базі Raspberry Pi Pico W та мови програмування MicroPython	169
<i>Григоріє М.-В.В.</i> Розробка веб-застосунку онлайн-бібліотеки з інтеграцією штучного інтелекту	171
<i>Метлінський Д. А.</i> Реалізація підсистеми квазіоптимізації структури комп'ютерної мережі та аналіз результатів тестування	173
<i>Яковлев І.С.</i> Орієнтована фільтрація X-променевих зображень	175
<i>Ілашук М.М.</i> Розпізнавання емоцій на зображеннях обличч у відеопотоці за допомогою згортованих нейронних мереж	177
<i>Костюхевич Н.Ю.</i> Нейромережева система інтерактивного голосового діалогу з музейними експонатами на основі архітектури RAG	179
<i>Батько Ю.М.</i> Системи моніторингу умов проживання на основі фізичних та хімічних параметрів зовнішнього середовища в структурі «Розумного міста»	182
<i>Івашенюк С.О.</i> Розробка веб-застосунку для керування проектними завданнями	185
<i>Ковальський М.А.</i> Модуль інтелектуального агента для класифікації зловмисного програмного забезпечення з використанням нечіткої логіки	188
<i>Калинюк Р.І.</i> Програмний модуль мобільної системи моніторингу параметрів навколишнього середовища	200

Калинюк Р.І.

студент 4 курсу факультету комп'ютерних інформаційних технологій

Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль, Україна

Науковий керівник: д.т.н., професор Саченко А.О.

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Вступ. Оперативний та високоточний моніторинг параметрів навколишнього природного середовища є одним із ключових пріоритетів сталого розвитку сучасних урбанізованих територій у рамках global-концепції Smart City. Наявні традиційні державні екологічні пости є капіталомісткими, громіздкими та стаціонарними, що обмежує їх здатність відображати реальну картину локального забруднення повітря або температурних аномалій з високою просторовою дискретизацією. Альтернативним вискоелективним рішенням є впровадження мобільних систем моніторингу на основі технологій Інтернету речей (IoT), які інтегруються на рухомі об'єкти муніципального транспорту, кур'єрські автомобілі або безпілотні літальні апарати, забезпечуючи щільне динамічне картографування екологічного стану міста в реальному часі [1].

Постановка задачі. Метою даного дослідження є проектування та розробка програмного модуля для мобільного IoT-пристрою екологічного моніторингу кліматичних параметрів (температура, вологість) та концентрації шкідливих газів і твердих частинок. Програмний модуль має забезпечувати енергоефективне зчитування інформації з масиву датчиків, первинну фільтрацію індустриальних завод, тимчасове локальне кешування та надійну телеметричну передачу даних за допомогою легковаго протоколу MQTT в умовах нестабільного бездротового покриття.

Основний матеріал. Апаратну платформу мобільного кінцевого пристрою спроектовано на базі мікроконтролера Raspberry Pi Pico W (або сокету ESP8266), який поєднує низьку вартість, мале енергоспоживання та вбудований бездротовий інтерфейс Wi-Fi 4. Архітектура програмного модуля розроблена мовою MicroPython, що дозволило забезпечити високу швидкість розробки та гнучкість управління апаратними ресурсами таймерів і переривань. Для збору інформації до мікроконтролера через шини I2C та OneWire підключено комплекс цифрових та аналогових датчиків, характеристики яких наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Метрологічні та інтерфейсні характеристики сенсорів модуля моніторингу

Тип сенсора	Вимірюваний екологічний параметр	Діапазон вимірювань	Протокол зв'язку
DHT22 / AM2302	Температура повітря, відносна вологість	-40...+80 °C, 0...100%	Digital OneWire
MQ-135	Концентрація CO ₂ , аміаку, бензолу	10...1000 ppm	Аналоговий (ADC)
PMS5003	Дрібнодисперсний пил PM2.5, PM10	0...999 мкг/м³	UART / Serial

Зчитування даних відбувається циклічно з періодом $T = 5$ секунд. Оскільки мобільний характер системи передбачає рух містом та періодичне потрапляння у зони радіотіні, програмний модуль реалізує архітектурний шаблон "Store-and-Forward". При зникненні зв'язку з MQTT-брокером (Mosquitto) зібрані пакети даних серіалізуються у формат JSON та записуються у циклічний буфер у незалежній флеш-пам'яті мікроконтролера. Після автоматичного відновлення Wi-Fi cecії модуль виконує пакетну вивантаження накопичених логів із збереженням часових міток (Timestamp), отриманих від вбудованого RTC-модуля, синхронізованого через NTP.

Для нівелювання імпульсних шумів сенсорів газу та коливань живлення в алгоритм обробки інтегровано цифровий фільтр ковзного середнього з вікном розмірністю $N = 12$. Передача даних оптимізована за рахунок прапорця MQTT Clean Session та налаштування QoS 1 для критичних екологічних аномалій [2].

Висновки. Розроблений програмний модуль мобільної IoT-системи забезпечує автономний збір та стабільну доставку екологічної інформації до хмарної платформи візуалізації. За результатами натурних випробувань на міському маршруті тривалістю 4 години, програмний модуль успішно зберіг та передав 99.2% вимірювань, продемонструвавши високу стійкість до втрат зв'язку та низьке споживання енергії (до 85 мА в режимі активної передачі), що дозволяє використовувати його в автономних еко-патрульних системах.

Список літератури

1. Дубчак Л. М., Дериш Б. Б. Побудова гнучких мобільних систем моніторингу навколишнього середовища в концепції розумного міста. // Інтернет речей та комп'ютерні інженерні системи. – 2025. – Том 3, №1. – С. 88–95.
2. Korania L., Dobrowolski M. Low-power wireless sensor networks for dynamic microclimate mapping. // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2024. – Vol. 73. – P. 1420–1429.