

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Система моніторингу якості повітря бази Arduino

(тема)

Виконав:

здобувач 4 року навчання,

групи КІУКІ-21-8

Турбаба Д.В.

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність \_\_\_\_\_

123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_

Комп'ютерна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник: доц. Рожнова Т.Г.

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри АПОТ




(підпис)

Чумаченко С.В

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія  
(код і повна назва)  
Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма Комп'ютерна інженерія  
(повна назва)  
Зав. кафедри   
“ 02 ” 05 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Турбабі Данилу Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема Система моніторингу якості повітря бази мікроконтролера Arduino

затверджена наказом по університету “ 21 ” 05 2025 р. № 403Ст

2. Термін подання студентом роботи до 19.06.2025.

3. Вихідні дані до роботи

Характеристики плати ATmega328

Схема плати ATmega328

Характеристики сенсорів

Мова програмування C++

Середовище розробки Arduino IDE

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Аналіз предметної області і постановка задачі

Вибір апаратної частини для реалізації поставленої задачі

Розробка та реалізація системи

Тестування програмного забезпечення та роботи приладу

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, ілюстрацій

12 слайдів у форматі .ppt

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розгляд екологічних проблем та необхідність	05.05.25 – 10.05.25	+
2	Аналіз існуючих систем моніторингу	11.05.25 – 18.05.25	+
3	Вибір компонентів для побудови системи	19.05.25 – 21.05.25	+
4	Моделювання схеми підключення елементів	22.05.25 – 23.05.25	+
5	Розробка програмного забезпечення	24.05.25 – 31.05.25	+
6	Тестування коду та усунення помилок	1.06.25 – 6.06.25	+
7	Збірка апаратної частини	7.06.25 – 11.06.25	+
8	Проведення тестувань	12.06.25 – 15.06.25	+
9	Аналіз результатів роботи системи	16.06.25 – 18.06.25	+
10	Подання роботи для захисту в ЕК	19.06.25 – 30.06.25	+

Дата видачі завдання 05.06.2025 р.

Здобувач



(підпис)

Керівник роботи



(підпис)

доц. Рожнова Т.Г.

(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботимістить 47 с., 14 рис., 1 табл.,3 дод.,10 джерел посилення.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГУ, АРДУІНО, ДАТЧИК ЯКОСТІ ПОВІТРЯ, MQ135, DHT22, МІКРОКОНТРОЛЕР, OLED-ДИСПЛЕЙ

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи моніторингу якості повітря з використанням мікроконтролера Arduino, яка дозволяє в реальному часі відстежувати рівень забруднення навколишнього середовища та інформувати користувача про критичні зміни параметрів.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було спроектовано та зібрано прототип системи, здатної в режимі реального часу вимірювати основні параметри стану повітря.Отримані дані дозволяють оцінювати стан повітря в локальних зонах і виводити показники на OLEDдісплей.

## ABSTRACT

The explanatory note of the certification work contains 47 pages, 14 figures, 1 table, 3 appendices, 10 reference sources.

MONITORING SYSTEM, ARDUINO, AIR QUALITY SENSOR, MQ135, DHT22, MICROCONTROLLER, OLED DISPLAY

The aim of the qualification work is to develop an air quality monitoring system using an Arduino microcontroller, which allows real-time tracking of environmental pollution levels and notifies the user about critical parameter changes.

During the course of the qualification work, a prototype of the system was designed and assembled, capable of measuring key air quality parameters in real time. The obtained data allows assessing the air condition in local areas and displaying the indicators on an OLED screen.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Проблематика забруднення повітря.....	10
1.2 Існуючі системи моніторингу якості повітря.....	11
1.3 Переваги та недоліки існуючих систем.....	13
1.4 Постановка задачі.....	13
2 АПАРАТНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ.....	16
2.1 Вибір апаратної платформи Arduino Uno R3.....	16
2.2 Огляд сенсорів для вимірювання параметрів повітря.....	19
2.3 Принципи зчитування даних з сенсорів Arduino.....	23
2.4 Програмна реалізація та структурування коду.....	26
3 РОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ.....	29
3.1 Загальна архітектура системи та блок-схема.....	29
3.2 Складання системи.....	31
3.3 Комунікація між компонентами.....	33
3.4 Обробка та відображення даних.....	35
3.5 Опис програмного забезпечення.....	37
4 ТЕСТУВАННЯ ПРИЛАДУ.....	40
4.1 Перевірка функціональності системи в різних умовах.....	40
4.2 Аналіз виявлених недоліків та можливості вдосконалення.....	43
ВИСНОВКИ.....	46
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	47
ДОДАТОК А ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	48
ДОДАТОК Б ЛІСТИНГ КОДУ.....	52
ДОДАТОК В АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ.....	56

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

API – інтерфейс прикладного програмування;

GND –заземлення, або мінус живлення.

IDE – інтегроване середовище розробки.

IoT – мережа пристроїв, які обмінюються даними через інтернет.

OLED – дисплей на органічних світлодіодах;

PM2.5, PM10 – тверді частки діаметром до 2,5 – 10мкм;

PPM – імпульсно-позиційна модуляція.

UART – асинхронний послідовний інтерфейс;

VCC –контакт живлення;

МК – мікроконтролер;

## ВСТУП

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасних екологічно орієнтованих технологій є створення автономних систем моніторингу навколишнього середовища, зокрема якості атмосферного повітря. Забруднення повітря має прямий вплив на здоров'я населення, екосистеми та клімат, тому питання розробки доступних і ефективних технічних рішень для контролю його стану є надзвичайно актуальним.

Системи моніторингу якості повітря, що базуються на мікроконтролерах, зокрема Arduino, дозволяють реалізувати функціональні рішення з мінімальними витратами. Структура подібної системи включає набір сенсорів, здатних в реальному часі відстежувати концентрацію шкідливих речовин у повітрі та змінювати користувача про перевищення критичних показників.

У даній роботі розглядається система, побудована на основі плати ArduinoUnoR3 з використанням таких компонентів: PMS5003, MQ135, DHT22, buzzetta акумуляторна батарея.

Розроблена система здатна проводити збір, обробку та аналіз даних у режимі реального часу. Завдяки доступності компонентів і простоті програмування Arduino-платформи, вона може бути використана як для наукових досліджень, так і в побутових або освітніх цілях.

У сучасних умовах, коли централізовані екологічні системи контролю мають обмежене покриття та часто не відображають реальну екологічну ситуацію на локальному рівні, впровадження подібних рішень дозволяє своєчасно виявляти критичні зміни в якості повітря. Актуальність теми також зумовлена потребою у доступних засобах підвищення екологічної обізнаності громадян.

У межах даної кваліфікаційної роботи буде проаналізовано функціонування основних сенсорів системи, особливості обробки сигналів та реалізацію алгоритмів попередження користувача про погіршення якості повітря.

Особливу увагу в роботі приділено аналізу чутливості та точності обраних датчиків у різних умовах навколишнього середовища. Наприклад, PMS5003 є одним із найточніших сенсорів для виявлення дрібнодисперсного пилу, проте його ефективність може знижуватися в умовах високої вологості. MQ135, хоча і має широкий спектр виявлення газів, потребує калібрування для точного визначення концентрацій певних забрудників. Водночас, DHT22 дозволяє враховувати температурно-вологісний вплив на інші сенсори та підвищувати загальну точність вимірювань.

У роботі також розглянуто енергетичні аспекти функціонування системи. Оскільки пристрій передбачається автономним, важливим є оптимізація споживання енергії. Для цього обґрунтовано вибір режимів енергозбереження, а також запропоновано інтервальний режим зчитування даних, що дозволяє зменшити навантаження на акумулятор.

Сигналізація про перевищення допустимих рівнів забруднення реалізована за допомогою бузера, що активується у випадку фіксації критичних показників. Такий підхід дає змогу миттєво привернути увагу користувача до загрози для здоров'я, що особливо важливо для вразливих категорій населення – дітей, людей з астмою або алергіями.

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Проблематика забруднення повітря

Забруднення повітря є однією з найгостріших екологічних проблем сучасності, яка безпосередньо впливає на здоров'я населення, стан навколишнього середовища та якість життя в цілому. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), щороку мільйони людей передчасно помирають внаслідок захворювань, пов'язаних із низькою якістю повітря. Найбільшу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки (PM2.5 та PM10), оксид вуглецю, озон, діоксид азоту, сірчистий газ та леткі органічні сполуки, які здатні проникати глибоко в легені, викликаючи респіраторні захворювання, серцево-судинні ускладнення та інші патології.

Особливо критичним є стан повітря в промислових регіонах, мегаполісах та районах з інтенсивним автомобільним рухом. У багатьох містах рівень забруднення перевищує допустимі норми, встановлені національними або міжнародними стандартами. Крім того, сезонні фактори, такі як опалювальний період або спека влітку, можуть додатково погіршувати ситуацію. На жаль, забруднення не має чітких кордонів – шкідливі речовини можуть переноситися повітряними масами на великі відстані, впливаючи навіть на відносно чисті території[8].

У цьому контексті надзвичайно важливою є організація ефективного моніторингу якості повітря, який дозволяє оперативно отримувати інформацію про вміст шкідливих речовин в атмосфері, виявляти джерела забруднення, аналізувати динаміку змін і розробляти відповідні заходи впливу. Без надійних даних неможливо приймати обґрунтовані управлінські рішення, планувати екологічну політику або формувати свідоме ставлення громадян до проблеми забруднення.

Традиційні державні системи моніторингу повітря часто є обмеженими через високу вартість обладнання, складність обслуговування, а також обмежену

кількість стаціонарних пунктів вимірювання. Вони не завжди забезпечують повне покриття території населених пунктів або своєчасне оновлення даних. У зв'язку з цим зростає інтерес до альтернативних підходів – використання портативних, недорогих пристроїв на базі відкритих апаратно-програмних платформ, таких як Arduino[6].

Завдяки сучасним сенсорам та мікроконтролерам з'явилася можливість створювати доступні для широкого загалу системи моніторингу якості повітря, які можуть працювати автономно, передавати дані в хмарні сервіси або локальні системи збору інформації. Такий підхід дозволяє не лише підвищити щільність мережі вимірювань, але й залучати до моніторингу громади, освітні установи, дослідників та активістів.

Загалом, на тлі загострення екологічних проблем, кліматичних змін і зростання соціальної відповідальності важливість доступного, точного та безперервного моніторингу повітря набуває першочергового значення. Саме такі рішення можуть стати інструментом у боротьбі за чисте довкілля, здоров'я людей і сталий розвиток суспільства.

## 1.2 Існуючі системи моніторингу якості повітря

Моніторинг якості повітря є важливою складовою екологічного контролю в більшості країн світу. Системи моніторингу дозволяють відслідковувати рівень забруднення атмосферного повітря, виявляти небезпечні концентрації шкідливих речовин, оперативно реагувати на екологічні загрози та формувати довгострокову політику охорони довкілля. На сьогоднішній день існує широкий спектр рішень, які можна умовно поділити на два типи: державні централізовані системи та альтернативні децентралізовані ініціативи, засновані на доступних технологіях.

У більшості розвинених країн існують офіційні національні мережі спостереження за станом атмосферного повітря. Державні централізовані системи зі стаціонарних автоматизованих станцій, оснащених високоточним

обладнанням для вимірювання концентрацій таких речовин, як PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, озон, формальдегід, а також деяких органічних сполук. Дані передаються в центральні сервери, обробляються та публікуються у відкритому доступі.

У США діє система AirNow, яку підтримує Агентство з охорони довкілля. Вона забезпечує візуалізацію стану повітря в режимі реального часу та формує індекс якості повітря. В Європейському Союзі функціонує Європейська система якості повітря – Eionet-AirBase, яка охоплює тисячі станцій у різних країнах. В Україні діє моніторингова мережа Гідрометцентру та деяких місцевих екологічних служб, проте її охоплення є обмеженим, а актуальність даних – не завжди достатньою[7].

У відповідь на обмеження традиційних державних мереж, зокрема в аспекті доступності, географічного покриття та вартості обладнання, у світі почали активно з'являтися громадські та приватні ініціативи моніторингу, засновані на недорогих мікроконтролерах та сенсорах.

Одним із найвідоміших проєктів такого типу є Luftdaten– відкрита платформа, створена в Німеччині, яка дозволяє користувачам самостійно збирати датчики якості повітря та підключати їх до глобальної мережі. Ці системи базуються на таких сенсорах, як SDS011 або PMS5003, та мікроконтролерах ESP8266 або ESP32. Користувачі отримують можливість переглядати дані з тисяч станцій у режимі реального часу через карту або API.

Ще один приклад – комерційна платформа PurpleAir, яка виробляє точні, але відносно доступні датчики для моніторингу PM<sub>2.5</sub>. Система також підтримує глобальну онлайн-карту та інтегрується з іншими сервісами.

У багатьох містах світу реалізуються локальні ініціативи із залученням шкіл, університетів, дослідницьких установ та громадських організацій. В Україні прикладом подібної діяльності є проєкт SaveEcoBot, який агрегує дані з офіційних джерел та громадських ініціатив, створюючи зручний онлайн-сервіс для моніторингу стану повітря по всій країні. Такі платформи сприяють

підвищенню екологічної обізнаності та залученню громадян до моніторингу довкілля.

### 1.3 Переваги та недоліки існуючих систем

Офіційні системи моніторингу мають високу точність, стандартизацію та правове підґрунтя для застосування їхніх даних. Проте вони є дорогими у впровадженні та обслуговуванні, що обмежує їх кількість і територіальне охоплення.

Громадські та самостійні рішення, попри нижчу точність окремих компонентів, дозволяють отримувати дані з більшої кількості точок, що покращує загальну картину розповсюдження забруднення. Такі системи легко масштабуються, адаптуються до конкретних умов та можуть стати основою для освітніх чи наукових досліджень.

Тенденція до демократизації екологічного моніторингу продовжує зростати. Поява недорогих, точних сенсорів, відкритих програмних рішень та широке поширення мікроконтролерів типу Arduino, Raspberry Pi та ESP дозволяє створювати персоналізовані рішення для локального моніторингу.

Надалі розвиток подібних систем йтиме в напрямі інтеграції з IoT, побудови розподілених сенсорних мереж, автоматичного аналізу даних на базі машинного навчання, а також створення платформ для громадської участі в контролі довкілля[9].

### 1.4 Постановка задачі

Погіршення стану довкілля, зростання інтенсивності урбанізації, збільшення кількості транспортних засобів та промислових підприємств призводять до значного зростання рівня забруднення атмосферного повітря, особливо в містах та промислових регіонах. На цьому тлі зростає необхідність у створенні локальних, мобільних та доступних засобів для вимірювання та

контролю якості повітря, які дозволяють своєчасно виявляти небезпечні концентрації шкідливих речовин.

У традиційних умовах державні системи моніторингу мають обмежене покриття та високі витрати на обладнання, що робить їх недоступними для широкого використання у побутових, навчальних або експериментальних цілях.

З іншого боку, розвиток цифрових технологій, мікроелектроніки та відкритих платформ, таких як Arduino, відкриває нові можливості для створення компактних, модульних і недорогих систем, які можуть бути зібрані, налаштовані та використані навіть користувачами без спеціальної технічної підготовки.

З огляду на вищезазначене, основною метою цієї роботи є розробка системи моніторингу якості повітря на базі платформи Arduino Uno R3, яка забезпечує реєстрацію основних показників стану атмосфери в режимі реального часу. Система має використовувати доступні сенсори, бути простою у збиранні та налаштуванні, а також забезпечувати відображення або передачу даних для подальшого аналізу.

У межах поставленої мети необхідно вирішити декілька технічних завдань:

а) аналіз параметрів, що характеризують якість повітря. Необхідно визначити ключові показники, що впливають на стан повітря та мають значення для здоров'я людини, зокрема: концентрація вуглекислого газу, летких органічних сполук, рівень пилу (PM2.5, PM10), температура та вологість. Визначення конкретних фізичних величин дає змогу підібрати відповідні сенсори та способи вимірювання;

б) огляд та обґрунтування вибору апаратних компонентів системи. Потрібно дослідити характеристики і сумісність мікроконтролера Arduino Uno R3 та таких сенсорів: MQ135 – для виявлення забруднюючих газів; PMS5003 – для вимірювання концентрацій дрібнодисперсного пилу DHT22 – для контролю температури та вологості;

в) розробка схеми з'єднання апаратних компонентів. Необхідно побудувати електричну схему підключення сенсорів до мікроконтролера,

враховуючи особливості інтерфейсів: UART (для PMS5003), аналоговий вхід (MQ135), цифровий вхід (DHT22);

г) створення програмного забезпечення для зчитування та обробки даних. Потрібно реалізувати програмний код, який ініціалізує роботу сенсорів, виконує зчитування даних, їх фільтрацію (при необхідності), а також відображення значень на серійному моніторі, дисплеї або веб-інтерфейсі. Код має бути розроблений із дотриманням принципів модульності, стабільності та зручності налаштувань;

д) тестування системи в реальних умовах. Слід провести випробування системи в різних середовищах (на вулиці, в приміщенні), порівняти дані між сенсорами та оцінити точність, стабільність і швидкість реакції пристрою на зміну умов навколишнього середовища.

е) оцінка перспектив масштабування та інтеграції з іншими системами. Після успішної розробки базової моделі необхідно розглянути можливості подальшої розробки: підключення до Wi-Fi або GSM для передавання даних, зберігання інформації в базі даних, побудова системи сповіщень або інтеграція в екосистему розумного міста.

Виконання вищезазначених завдань дозволить створити ефективну, бюджетну та функціональну систему для локального моніторингу якості повітря. Отримані результати можуть бути використані як для освітніх і наукових досліджень, так і для побутових чи громадських ініціатив, спрямованих на покращення екологічної ситуації в конкретному регіоні.

## 2 АПАРАТНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

### 2.1 Вибір апаратної платформи Arduino Uno R3

Для реалізації системи моніторингу якості повітря необхідно вибрати надійну, зручну у використанні та доступну за вартістю апаратну платформу, здатну взаємодіяти з різними сенсорами та передавати отриману інформацію для подальшої обробки. Одним із найпоширеніших рішень, яке повністю відповідає зазначеним вимогам, є використання Arduino Uno R3 – відкритої апаратно-програмної платформи для розробки електронних пристроїв.

Arduino Uno R3[1]– це мікроконтролерна плата, побудована на базі мікроконтролера ATmega328P від компанії Atmel. Вона має набір необхідних елементів для повноцінної роботи: стабілізатор напруги, кварцовий резонатор, інтерфейс USB для програмування та живлення, роз'єми для підключення зовнішніх пристроїв. Завдяки відкритій архітектурі та широкій спільноті розробників Arduino Uno стала стандартом де-факто для побудови прототипів у сфері інтернету речей, автоматизації та освітніх проєктів.

У таблиці 2.1 наведено характеристики МК ATmega328.

Таблиця 2.1 – Характеристики МК ATmega328

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Робоча напруга	5В
Вхідна напруга (рекомендована)	7–12 В
Кількість цифрових входів/виходів	14 (з них 6 з підтримкою PWM)
Кількість аналогових входів	6
Максимальний струм через I/O пін	40 мА

## Продовження таблиці 2.1

Обсяг Flash-пам'яті	32 КБ (з них 0.5 КБ використовується завантажувачем)
Оперативна пам'ять (SRAM)	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Тактова частота	16 МГц
USB-інтерфейс	Тип В для програмування та живлення
Розміри плати	68.6 мм × 53.4 мм

Причини вибору Arduino Uno R3 (рис. 2.1) для системи моніторингу повітря полягає у простоті використання.

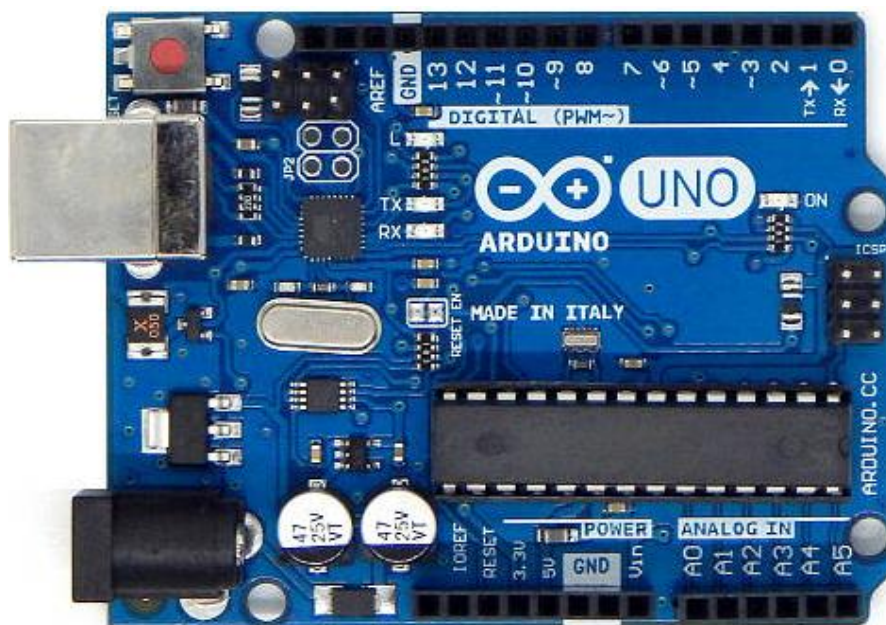


Рисунок 2.1 – ATmega328

Arduino Uno має зручну середу розробки – Arduino IDE, яка дозволяє легко писати, компілювати та завантажувати код. Простий синтаксис і велика кількість прикладів значно полегшують процес розробки. Для сенсорів, що використовуються у проєкті (MQ135, PMS5003, DHT22), вже існують готові бібліотеки Arduino, що дозволяє швидко реалізувати обмін даними між

сенсорами та мікроконтролером, що зменшує час на розробку. Важливим є надійність плати в умовах тривалої автономної роботи, що особливо актуально для екологічних проєктів з обмеженим доступом до технічного обслуговування. Завдяки цьому Arduino Uno для нашої розробки є доцільним вибором, бо надає просту реалізацію, стабільність роботи та забезпечує функціональність пристроїв моніторингу.

Arduino також має вбудований бутлоадер, що дозволяє завантажувати прошивку без програматора, а завдяки відкритому коду та апаратній платформі, розробники мають повний доступ до схем, документації та спільноти. Це значно спрощує як початкову реалізацію, так і подальше розширення функціоналу пристрою.

Плата має достатньо цифрових і аналогових пінів для одночасного підключення декількох сенсорів. Наприклад, PMS5003 використовує UART, MQ135 – аналоговий вхід, а DHT22 – цифровий. Arduino Uno підтримує одночасну роботу з усіма цими інтерфейсами без конфліктів. Arduino Uno стабільно працює як від USB, так і від зовнішнього джерела живлення (наприклад, батареї чи адаптера). Це дозволяє використовувати пристрій як у стаціонарному, так і в мобільному варіантах системи.

Якщо з часом виникне потреба у розширенні системи (наприклад, додавання Wi-Fi-модуля ESP8266 або SD-карти для логування), Arduino Uno дозволяє легко інтегрувати додаткові модулі через стандартні інтерфейси.

Arduino Uno – одна з найбільш доступних мікроконтролерних платформ. Її можна придбати як оригінального виробництва, так і у вигляді численних сумісних клонів, що робить розробку фінансово досяжною для студентів, дослідників та ентузіастів.

Хоча існують інші мікроконтролери, такі як ESP8266, ESP32, STM32 або Raspberry Pi Pico, Arduino Uno має оптимальний баланс між функціональністю, простотою та стабільністю. У даній роботі критичним є забезпечення стабільного збору та обробки даних із трьох типів сенсорів, а також можливість

простої локальної індикації. ArduinoUnoR3 повністю покриває ці потреби без зайвих ресурсних витрат.

## 2.2 Огляд сенсорів для вимірювання параметрів повітря

Для побудови повноцінної системи моніторингу якості повітря необхідно використовувати набір сенсорів, здатних фіксувати різні показники стану атмосфери. До основних параметрів, що визначають якість повітря, відносяться: температура, вологість, вміст газів (зокрема вуглекислого газу, аміаку, бензолу, оксиду вуглецю), а також концентрація твердих частинок (PM2.5, PM10). У цьому проєкті застосовано три сенсори: MQ135, PMS5003 та DHT22, кожен з яких виконує певну функцію в рамках загальної системи.

Таке поєднання дозволяє отримувати комплексні дані про стан повітря в режимі реального часу. Це підвищує точність оцінки забруднення та дає змогу оперативно реагувати на зміни екологічної ситуації. Завдяки модульності система легко розширюється додатковими сенсорами чи комунікаційними модулями.

Газовий сенсор MQ135(рис.2.2) – є одним з найбільш популярних у своєму класі для вимірювання забруднюючих газів. Він здатний виявляти широкий спектр газів: аміак ( $\text{NH}_3$ ), оксид вуглецю (CO), спирти, бензол, дим та вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ).

MQ135 працює на основі хімічного чутливого шару, опір якого змінюється під дією присутності газів. Зміни опору перетворюються в аналоговий електричний сигнал, який зчитується мікроконтролером через аналоговий вхід.

Переваги цієї моделі датчика – це низька вартість, широкий діапазон виявлення речовин (включаючи аміак, оксид вуглецю, бензол, спирти, дим,  $\text{CO}_2$ ), а також простота підключення до Arduino або інших мікроконтролерів. Сенсор має виводи VCC, GND, DO (цифровий вихід з компаратором) та AO (аналоговий вихід), що робить його універсальним у використанні.

Однак, є і недоліки – це відносно невисока точність: графік чутливості потребує попереднього калібрування під конкретні умови, попереднього прогріву (близько 24–48 годин при першому використанні), а також врахування впливу температури та вологості на точність вимірювання. MQ135 не має вбудованого цифрового інтерфейсу або автоматичної компенсації, що обмежує його застосування у критично точних задачах.

Водночас, MQ135 є ідеальним рішенням для попереднього аналізу рівня загального забруднення повітря в приміщеннях або зовнішньому середовищі, коли важлива оцінка тенденцій або виявлення перевищень допустимих меж, а не отримання абсолютних концентрацій у ppm. Він добре підходить для систем екологічного моніторингу, освітніх проєктів та DIY-рішень, де потрібна простота та наочність.

Крім того, згідно з технічною документацією[2], MQ135 має робочу напругу 5В, споживає близько 150 мА, і забезпечує вихідний сигнал із типовим коефіцієнтом нелінійності, який може бути оброблений у програмному забезпеченні для побудови емпіричної моделі вимірювання.



Рисунок 2.2 – MQ135

Лазерний сенсор твердих часток PMS5003 (рис. 2.3) – є високоточним приладом для вимірювання дрібнодисперсного пилу (частинок PM1.0, PM2.5 та PM10). Його використовують у побутових, наукових та промислових рішеннях, де потрібна точна оцінка вмісту часток у повітрі.

Сенсор працює на основі принципу лазерного розсіювання світла. Усередині пристрою вентилятор подає зразок повітря у вимірювальну камеру, де лазерний промінь взаємодіє з твердими частинками. Світло, що розсіюється

частками, фіксується фотодіодом під визначеним кутом, після чого спеціальний алгоритм аналізує інтенсивність сигналу і перетворює його у числові значення концентрацій у  $\mu\text{кг}/\text{м}^3$ .



Рисунок 2.3 – PMS5003

Переваги сенсора – висока точність і стабільність, здатність до одночасного вимірювання кількох фракцій пилю, цифровий UART-інтерфейс для надійної передачі даних, компактний корпус із вбудованим вентилятором, та тривалий термін служби (ресурс лазера – понад 20 000 годин).

Також є недоліки, зокрема відносно висока вартість у порівнянні з деякими аналогами, потреба в правильному розміщенні (горизонтальна орієнтація, уникнення вібрацій та пилозахист корпусу), а також необхідність стабільного живлення 5В.

Згідно з технічними характеристиками виробника[3], PMS5003 забезпечує високу точність, широкий діапазон вимірювань, швидкий час відгуку та передачу даних через UART. PMS5003 використовується у системах контролю якості повітря, повітроочисниках, мобільних моніторингових пристроях, у лікарнях, школах, офісах, а також у дослідницьких проєктах. Завдяки підтримці структурованого вихідного формату даних, сенсор легко інтегрується з платформами Arduino, ESP32, Raspberry Pi тощо.

Сенсор також підтримує режим активного або пасивного опитування, що дозволяє оптимізувати частоту зчитування залежно від завдань проєкту. Його низьке енергоспоживання робить PMS5003 придатним для використання в автономних системах з живленням від акумуляторів або сонячних панелей.

Його точність, стабільність і зручність у використанні роблять PMS5003 надійним вибором для довготривалого автоматизованого моніторингу повітря з можливістю аналітичної обробки та побудови графіків.

Температурно-вологісний сенсор DHT22 (рис. 2.4) – є цифровим сенсором, який вимірює температуру та вологість з високою точністю у порівнянні зі своїм молодшим аналогом DHT11. Ці два параметри є важливими як самі по собі, так і для корекції показників інших сенсорів.



Рисунок 2.3 – DHT22

Сенсор має вбудований мікročіп, який забезпечує обробку сигналу та передає його у цифровому вигляді мікроконтролеру по одному проводу (через власний протокол). Передача даних виконується з використанням спеціального таймінгу, що забезпечує узгодженість значень навіть при довгих інтервалах зчитування. DHT22 у своєму вигляді має дуже просту інтеграцію з Arduino, наявність бібліотек для швидкого та правильного підключення до систем, широкий температурний діапазон і достатня точність вимірювань показників.

У свій час він також має недоліки – порівняно повільний відгук (до 2 сек), чутливість до сильного конденсату або пилу, що може впливати на тривалість служби сенсора в агресивних умовах[4].

DHT22 використовується для отримання кліматичних параметрів, що впливають на загальну якість повітря та дозволяють здійснювати корекцію інших показників у відповідних математичних моделях. Крім того, Adafruit зазначає, що сенсор забезпечує стабільну роботу при низькому споживанні енергії, що робить його придатним для мобільних або автономних систем моніторингу довкілля. Завдяки компактному корпусу та можливості роботи в

широкому діапазоні напруг, DHT22 легко інтегрується в різноманітні апаратні конфігурації без необхідності додаткових перетворювачів рівнів.

### 2.3 Принципи зчитування даних з сенсорів Arduino

Мікроконтролерна платформа Arduino широко використовується для побудови систем збору даних із сенсорів завдяки простоті реалізації, гнучкій архітектурі та підтримці великої кількості готових бібліотек. Одним із ключових етапів розробки будь-якого проєкту є зчитування та обробка інформації, отриманої з різних типів датчиків. Цей процес включає в себе підключення сенсора до мікроконтролера, налаштування відповідного інтерфейсу зв'язку, зчитування сигналу та його інтерпретацію для подальшого використання.

У системі моніторингу якості повітря на базі Arduino Uno R3 використовуються кілька типів сенсорів, які працюють за різними принципами та потребують різних методів зчитування. Для кожного типу необхідно враховувати особливості електричних сигналів, тип підключення (аналоговий, цифровий або серійний) та частоту опитування.

Сенсори з аналоговим виходом формують напругу, яка безпосередньо залежить від вимірюваного параметра. Arduino Uno R3 має 6 аналогових входів (A0–A5), які дозволяють зчитувати значення напруги у діапазоні від 0 до 5В з роздільною здатністю 10 біт (тобто значення від 0 до 1023).

Приклад: Сенсор MQ135, який використовується для оцінки якості повітря, формує аналоговий сигнал відповідно до рівня концентрації газів. Для зчитування цього сигналу використовують функцію `analogRead(A0)`.

Далі це значення масштабують у відповідності до конкретних характеристик сенсора та калібрування, щоб отримати реальні концентрації у ppm. Особливості такого підходу це те, що перед початком зчитування даних такі датчики вимагають зовнішнього калібрування, необхідно враховувати напругу при точних вимірюваннях і вони чутливі до шумів.

Деякі сенсори, наприклад DHT22, використовують спеціалізовані цифрові протоколи для передачі даних. У цьому випадку Arduino зчитує дані з цифрових пінів через заздалегідь налаштований таймінг або з використанням бібліотеки.

Для сенсора DHT22 доступна популярна бібліотека DHT.h, яка дозволяє зчитувати температуру і вологість за допомогою простого коду(лістинг 2.1).

#### Лістинг 2.1 – Приклад зчитування з DHT22

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT22

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  dht.begin();
}

void loop() {
  float temp = dht.readTemperature();
  float hum = dht.readHumidity();
}
```

Цифрове зчитування порівняно з аналоговим має більш високу точність і стійкість до шумів, пряму передачу готових значень, менший вплив зовнішніх факторів.

Проте цифрове зчитування має залежність від таймінгу і часто обмежену частоту опитування, у DHT22 – раз на 2 секунди.

Сенсори, що передають велику кількість даних або працюють із високою точністю, зазвичай використовують інтерфейс UART. Прикладом є PMS5003.

Цей сенсор передає пакет даних у вигляді послідовності байтів через послідовний порт. Для його зчитування використовують програмну або апаратну

реалізацію UART. На Arduino Uno можна використовувати SoftwareSerial для підключення додаткового серійного пристрою(лістинг 2.2).

### Лістинг 2.2 – Приклад зчитування UART

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial pmsSerial(3, 2); // RX, TX

void setup() {
    pmsSerial.begin(9600);
}

void loop() {
    if (pmsSerial.available()) {
        int data = pmsSerial.read();
        // подальша обробка даних
    }
}
```

UART має багато переваг, порівняно з іншими зчитуваннями – надійна передача великих обсягів даних, підтримка стандартних протоколів і пакетної структури, праця на фіксованій швидкості.

Зчитування даних є лише перший етап. Наступним є обробка, яка включає в себе усереднення значень для зменшення шуму, відкидання некоректних значень, перевірка часу останнього зчитування і формування структурованих об'єктів для зручності подальшої передачі.

Процес зчитування даних із сенсорів на платформі Arduino включає врахування типу сигналу (аналоговий, цифровий, UART), налаштування відповідного інтерфейсу зв'язку, використання бібліотек, а також обробку отриманих даних для подальшого використання.

Також важливо синхронізувати частоту опитування різних сенсорів, щоб уникати конфліктів.

## 2.4 Програмна реалізація та структурування коду

Програмне забезпечення – це ключовий компонент будь-якої автоматизованої системи збору та обробки даних. У випадку з платформою Arduino воно забезпечує керування сенсорами, зчитування показників, обробку сигналів, відображення інформації, а також можливе збереження або передавання даних на інші пристрої чи сервери. Грамотна структура коду значно полегшує налагодження, модифікацію й масштабування системи моніторингу якості повітря.

Для розробки програмного забезпечення використовується середовище Arduino IDE, яке підтримує мову програмування на основі C/C++. Це середовище забезпечує зручний інтерфейс, автоматичне компілювання, завантаження прошивки на плату та моніторинг серійного порту. Крім того, Arduino IDE має велику кількість бібліотек, які спрощують інтеграцію з різними сенсорами.

Основна структура будь-якої програми (скетчу) Arduino складається з двох функцій `setup()` і `loop()`.

На початку коду необхідно підключити бібліотеки, які спрощують роботу з сенсорами. Для DHT22 використовується бібліотека `DHT.h`, для PMS5003 – `SoftwareSerial.h` або інша залежно від методу зчитування. Також потрібно оголосити піни підключення та змінні для збереження значень.

У функції `setup()` ініціалізуються серійний порт, сенсори та, при необхідності, змінні стану. Для коректної роботи PMS5003 необхідно встановити швидкість обміну UART, а для DHT – запустити метод `begin()` (лістинг 2.3).

### Лістинг 2.3 – Функція `setup()`

```
void setup() {  
  Serial.begin(9600);  
  pmsSerial.begin(9600);  
  dht.begin();  
  pinMode(6, OUTPUT);  
}
```

```

digitalWrite(6, LOW);
Serial.println("System Init");
delay(2000);
Serial.println("Ready");
}

```

У функції `loop()` реалізується безперервний цикл, у якому послідовно зчитуються показники з усіх сенсорів. Зазвичай зчитування включає отримання значень, перевірку їх коректності, можливу фільтрацію та виведення результатів.

Також на цьому етапі можна реалізувати логіку реагування на критичні значення, наприклад, запуск сповіщення або запис у журнал подій. (лістинг 2.4).

#### Лістинг 2.4 – Функція `loop()`

```

void loop() {
  float temp = dht.readTemperature();
  float hum = dht.readHumidity();

  if (!isnan(temp) && !isnan(hum)) {
    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(temp);
    Serial.print(" °C, Humidity: ");
    Serial.print(hum);
    Serial.println(" %");
  }
  delay(2000);
}

```

Для полегшення читання та підтримки програмного коду рекомендується структурувати програму з урахуванням принципів модульності, коли зчитування кожного сенсора винесено в окрему функцію, а також застосовувати фільтрацію та перевірку достовірності отриманих даних. Це дозволяє уникати помилкових значень та забезпечує стабільність роботи пристрою.

Важливим є також інкапсулювання логіки – розділення коду на чітко визначені частини: зчитування, обробка, виведення інформації та передача, що підвищує зручність у підтримці та розширенні функціоналу.

Для зручності подальшого аналізу дані можуть виводитися у форматі JSON або CSV, що полегшує інтеграцію з хмарними сервісами або базами даних. Не менш важливою є реалізація базового логування та діагностики – повідомлення про помилки, збої або втрату зв'язку з сенсорами дозволяють швидко реагувати на несправності системи.

Крім того, ефективна організація програмного коду передбачає використання глобальних констант і змінних для збереження ключових параметрів, що спрощує конфігурацію та адаптацію системи до нових умов. Наприклад, значення порогів для включення тривожної індикації або інтервалів зчитування сенсорів доцільно винести в окремий блок налаштувань. Оптимізація коду включає також усунення надмірностей, дублювання логіки та використання ефективних алгоритмів обробки сигналів, що особливо актуально для систем із обмеженими ресурсами, таких як Arduino Uno.

Такий підхід дозволяє адаптувати проєкт під різні сценарії використання, зберігаючи при цьому простоту і надійність реалізації.

## ЗРОЗРОБКА ТА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

### 3.1 Загальна архітектура системи та блок-схема

Проект побудови системи моніторингу якості повітря на базі мікроконтролера Arduino передбачає інтеграцію апаратних та програмних компонентів у єдину функціональну структуру. Основною метою такої системи є забезпечення безперервного збору екологічних даних, їх обробки, аналізу та подання у зручному для користувача вигляді. Загальна архітектура системи базується на модульному принципі, що дає змогу легко змінювати або доповнювати її складові.

Система складається з 4 основних блоків: сенсорний блок, блок керування, блок виводу/індикації та опціонально блок зв'язку (рис 3.1).

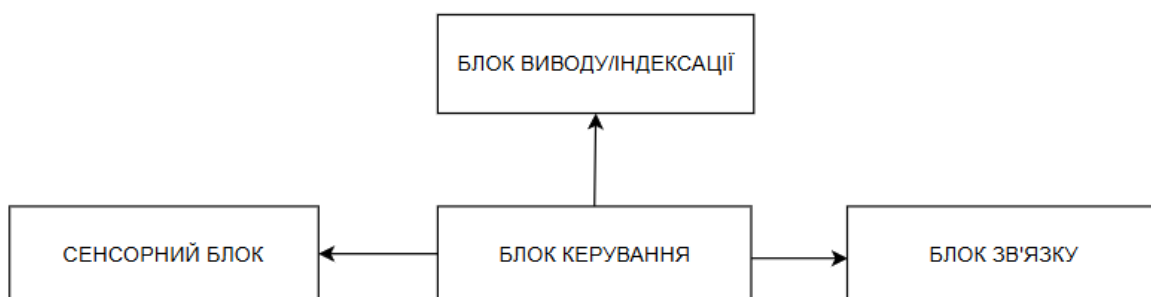


Рисунок 3.1 –Блок схема приладу

Серцем системи є сенсорний блок, який включає три датчики: MQ135, PMS5003 та DHT22. Кожен із них виконує вимірювання окремого параметра.

Кожен сенсор підключається до Arduino за допомогою відповідного інтерфейсу:

- MQ135– аналоговий вхід (A0);
- DHT22 – цифровий пін (D4);
- PMS5003 – UART через SoftwareSerial (порти 3 і 2).

Сенсори працюють у тісній взаємодії з мікроконтролером, забезпечуючи зчитування значень у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни стану повітря.

На схемі екологічного контролера якості повітря (рис. 3.2) зображено взаємозв'язок між мікроконтролером Arduino Uno R3 та основними компонентами системи.

Усі елементи підключені до відповідних пінів Arduino згідно з типом сигналу: аналоговим, цифровим або через інтерфейс UART та I2C, що забезпечує коректну та узгоджену роботу всієї системи моніторингу.

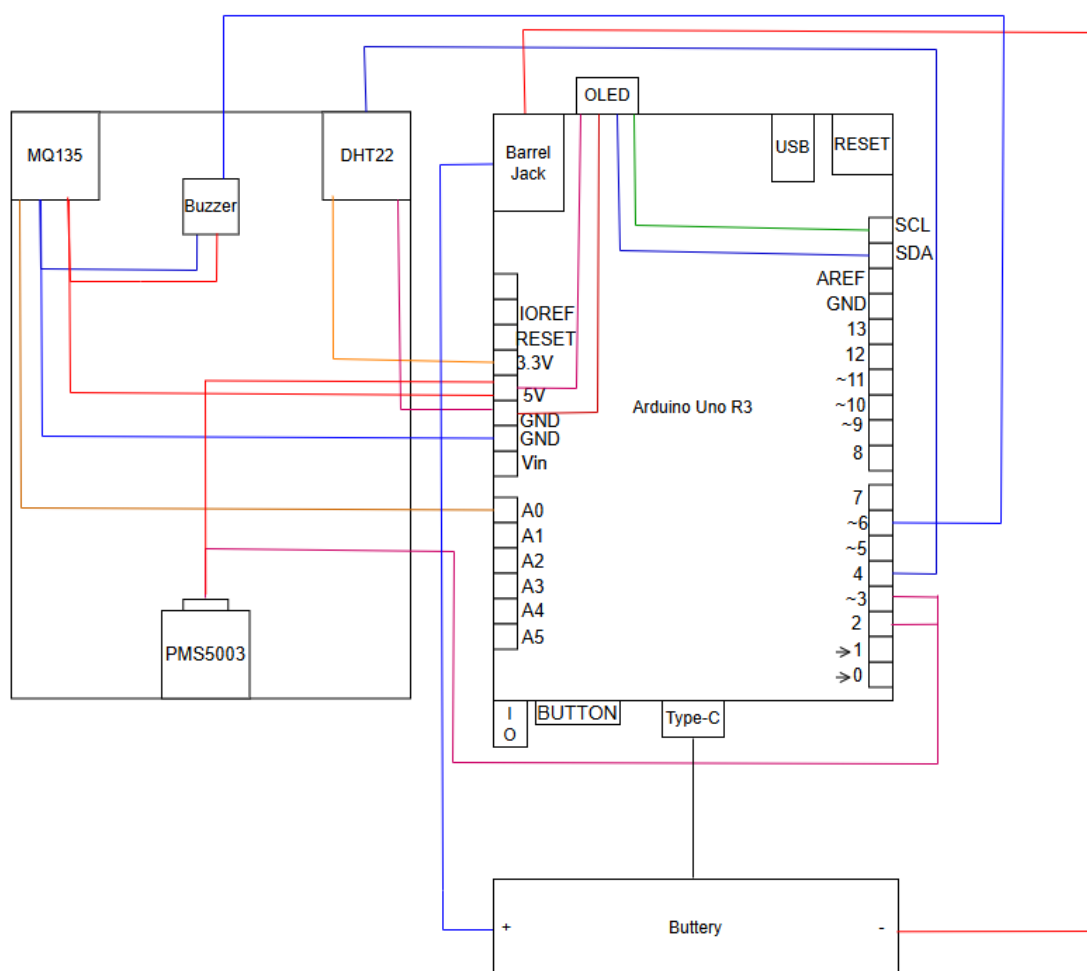


Рисунок 3.2 –Схема екологічного контролера якості повітря

Центральним елементом системи є мікроконтролер Arduino Uno R3 – блок керування. Він забезпечує зчитування сигналів із сенсорів, їх обробку та керування іншими компонентами. У мікроконтролері реалізовано алгоритм

збору, перевірки, фільтрації та відображення даних. Дані обробляються у циклічному режимі, що забезпечує безперервний моніторинг.

Arduino працює в реальному часі, зчитуючи дані в межах фіксованих інтервалів. За потреби ці інтервали можна змінювати, оптимізуючи продуктивність та частоту опитування залежно від умов середовища.

Зібрані дані можуть виводитися на серійний монітор, який є базовим засобом візуалізації в середовищі Arduino IDE. Крім того, передбачено можливість підключення OLED-дисплея, на якому можна виводити ключові параметри.

Індикація супроводжується попередженнями при досягненні критичних рівнів забруднення за допомогою бузера.

Для розширення функціоналу система може бути доповнена модулями передачі даних: Wi-Fi-модуль (ESP8266 або ESP32), GSM-модуль (SIM800L) та SD-карта.

Також можливе підключення акумулятора або сонячної панелі, що забезпечить автономну роботу пристрою в польових умовах або на відкритому повітрі. Загальна послідовність роботи системи виглядає наступним чином (рис. 3.3).

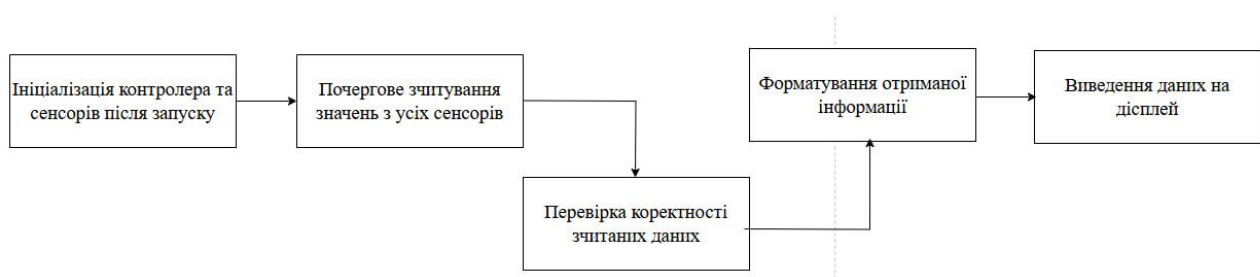


Рисунок 3.3 – Схема послідовності роботи

### 3.2 Складання системи

Центральним елементом зібраної системи є плата Arduino Uno R3, яка виступає в ролі контролера та забезпечує зчитування, обробку і координацію роботи підключених сенсорів та індикаторів. До плати підключаються три

основні сенсори. Всі сенсори мають різні типи вихідних сигналів та інтерфейсів, що вимагає врахування специфіки їх підключення.

Важливою особливістю складання стало використання OLED-дисплея для відображення зібраної інформації. Дисплей було підключено за інтерфейсом I2C, що дозволяє заощадити кількість використаних пінів мікроконтролера та забезпечує високу швидкість обміну. Саме OLED-дисплей був обраний через його надзвичайно високу контрастність, мале енергоспоживання та можливість чіткого відображення символів навіть при малих розмірах. Невеликі фізичні розміри модуля дозволили зручно розмістити його без потреби у додатковому монтажному просторі, що є важливим для компактних систем моніторингу[5].

Для індикації аварійних або критичних ситуацій було інтегровано бужер, який спрацьовує у разі перевищення заданих порогів забруднення, наприклад, при високій концентрації дрібнодисперсного пилу або газів. Усі компоненти отримують живлення від плати Arduino через роз'єм USB або від зовнішнього джерела, що забезпечує гнучкість у розміщенні пристрою.

Процес складання розпочинався з підготовки корпусу пристрою та перевірки справності всіх компонентів. Після цього проводилося з'єднання сенсорів із Arduino з дотриманням полярності, напруги живлення та відповідних інтерфейсів. MQ135 було розміщено в окремій зоні для зменшення впливу теплових джерел, а PMS5003 орієнтовано таким чином, щоб повітря могло вільно циркулювати через його вимірювальну камеру. DHT22 встановлено у відкритому місці для точного відображення температурно-вологісних параметрів, оскільки ці показники впливають на точність вимірювання інших сенсорів(рис. 3.4).

Особливу увагу приділено фіксації дротів для запобігання коротким замиканням і механічним пошкодженням під час експлуатації. Для цього використовувалися ізольовані з'єднувальні дроти, які забезпечують надійне з'єднання між елементами. Сигнальні лінії розміщувалися з урахуванням мінімізації перехресних перешкод і наведень, що могло б впливати на точність

аналогових вимірювань. Усі з'єднання були перевірені за допомогою мультиметра перед подачею живлення на систему.

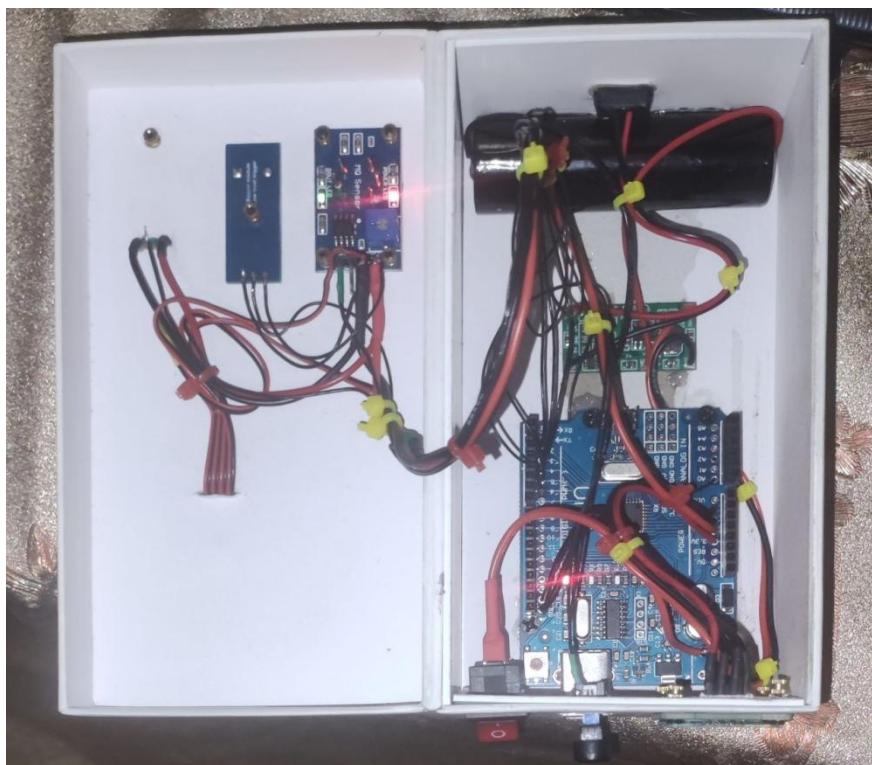


Рисунок 3.4 – Внутрішнє компонування пристрою

### 3.3 Комунікація між компонентами

Комунікація між окремими компонентами вбудованої системи є важливим елементом, що забезпечує її коректну та злагоджену роботу. У системі моніторингу якості повітря на базі ArduinoUnoR3 передача даних відбувається між мікроконтролером та зовнішніми сенсорами – температурно-вологісним DHT22, газовим MQ135 та лазерним датчиком пилу PMS5003. Кожен із сенсорів має свій формат з'єднання та комунікаційний протокол, що вимагає відповідного підходу при проектуванні схеми.

Сенсор DHT22 передає дані про температуру і вологість через власний однопровідний цифровий протокол. Для зв'язку з мікроконтролером використовується один цифровий пін D4.

Передача даних відбувається послідовно, у вигляді 40-бітного пакета, який включає значення температури, вологості та контрольну суму. Такий тип комунікації є досить чутливим до таймінгу, тому для забезпечення коректної роботи використовується спеціалізована бібліотека (наприклад, DHT.h), яка керує точністю обміну.

Особливості:однопровідне з'єднання, обмежена частота опитування (не більше одного разу на 2 секунди), висока стабільність передачі, якщо дотримано часових інтервалів.

Сенсор MQ135 передає аналоговий сигнал – напругу, що змінюється залежно від концентрації газів. Arduino зчитує це значення через аналоговий вхід A0 за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача.

Зчитування сигналу виконується функцією `analogRead()`, результат якої – значення від 0 до 1023, що відповідає напрузі від 0 до 5В. Це значення можна перетворити у ppm шляхом калібрування та математичних перетворень. При правильному підході це дозволяє оцінити концентрацію газів у повітрі.

Сенсор PMS5003 – це цифровий лазерний сенсор для визначення твердих частинок. Він передає дані через UART, використовуючи стандартну послідовну передачу даних.

Оскільки Arduino Uno має лише один апаратний UART-порт, для PMS5003 застосовується програмна емуляція UART за допомогою бібліотеки `SoftwareSerial`.

Передача даних виконується у вигляді 32-байтного пакета, що включає всі значення часток у  $\text{мкг/м}^3$ . Зчитування таких пакетів вимагає обробки байтів, перевірки контрольної суми та парсингу значень.

Цей процес забезпечує високу надійність переданих даних і дозволяє уникнути хибних показників у випадку збоїв або завад у лінії зв'язку.

Компоненти не взаємодіють між собою безпосередньо – уся комунікація проходить через центральний мікроконтролер Arduino Uno. Його функція полягає у координації:опитування сенсорів згідно з розкладом, буферизації

отриманих значень, контролю послідовності операцій, формування логіки реакції на критичні параметри.

Для мінімізації затримок важливо правильно налаштувати затримки в коді, щоб уникати конфліктів, наприклад, при паралельному зчитуванні з UART та ADC.

Комунікаційна архітектура системи є гнучкою та може бути розширена додатковими модулями, зокрема бездротовими. У такому випадку передача даних здійснюватиметься не лише локально, а й віддалено – на веб-сервер, у хмару чи мобільний додаток.

### 3.4 Обробка та відображення даних

Сучасні системи моніторингу не обмежуються лише зчитуванням даних із сенсорів. Для ефективного використання таких систем необхідна їх обробка, перевірка достовірності та подання в зручному для аналізу вигляді. Без належної обробки навіть найточніші сенсори можуть генерувати некоректні або нерелевантні дані, що знижує надійність усієї системи. У даному розділі розглядається принцип обробки інформації, зібраної з трьох сенсорів: MQ135, PMS5003 та DHT22, а також методи відображення цієї інформації через інтерфейси користувача.

Після зчитування з сенсорів, отримані значення зазвичай є "сирими" і потребують додаткової обробки. Наприклад, значення з аналогового сенсора MQ135 подається у вигляді чисел у діапазоні від 0 до 1023, що відповідає напрузі від 0 до 5В. Ці дані не можна використовувати напряму без попередньої конвертації у фізичні одиниці, наприклад, ppm (частин на мільйон). Таке масштабування виконується за допомогою формул, у яких враховуються характеристики сенсора, напруга живлення та можливі температурні корекції.

У свою чергу, PMS5003 формує інформацію у вигляді байтових послідовностей, де кожен фрагмент пакета містить певне значення. Дані з цього

сенсора не потребують масштабування, проте важливо перевіряти структуру пакета та коректність контрольної суми перед використанням значень.

Щодо сенсора DHT22, його зчитування іноді дає NaN, якщо обмін відбувся з помилкою або сенсор не ініціалізувався коректно. У таких випадках програмно реалізується перевірка достовірності значення, й за необхідності – повторне зчитування або заміна на попереднє стабільне значення.

Навіть при нормальній роботі сенсорів можливі незначні коливання показників. Щоб уникнути відображення таких "шумових" змін, застосовуються методи фільтрації, зокрема: середнє арифметичне кількох зчитувань, експоненційне згладжування, порогова фільтрація.

Такі заходи дозволяють уникнути "скакання" значень у виводі або графіках, забезпечуючи стабільність системи з точки зору користувача.

Найбільш простим і водночас ефективним способом відображення інформації під час розробки є Serial Monitor у середовищі Arduino IDE. Він дозволяє виводити значення температури, вологості, рівня газів та пилу у текстовому форматі, з можливістю перегляду в режимі реального часу. Такий інтерфейс не потребує додаткового обладнання й запускається безпосередньо з середовища розробки. Завдяки цьому розробник може миттєво оцінювати роботу сенсорів та коректність алгоритмів. Приклад виводу у серійний монітор:

```
Serial.print("t: ");  
Serial.print(temp);  
Serial.print(" C | Вологість: ");  
Serial.print(hum);  
Serial.print(" % | PM2.5: ");  
Serial.println(pm25);
```

Цей підхід дозволяє швидко протестувати систему, виявити помилки в логіці зчитування або побачити поведінку сенсорів при зміні умов. Але в серійному моніторі неможливо зберігати історію даних або виводити графіки.

Для автономного використання або побудови більш дружнього інтерфейсу система оснащена OLED-дисплеєм. Використовуючи I2C OLED,

можна компактно виводити кілька значень одночасно. Вивід інформації можна реалізувати почерговим оновленням екрана або у форматі "прокрутки", щоб не перевантажувати інтерфейс. Приклад виводу на дисплей інформації виглядає наступним чином:

```
display.setCursor(0, 0);
display.print("T: ");
display.print(temp);
display.print("C");
```

Обробка та відображення даних – це критично важливий етап, який робить систему моніторингу корисною для кінцевого користувача. Саме через ці компоненти інформація стає не лише доступною, а й придатною для прийняття рішень.

Якісне форматування, фільтрація, графічна візуалізація і логічна індикація роблять систему не просто електронним пристроєм, а інструментом для підвищення екологічної безпеки та контролю за довкіллям. Використання екрана значно підвищує функціональність пристрою, роблячи його зручним.

### 3.5 Опис програмного забезпечення

Програмне забезпечення для системи моніторингу якості повітря написано мовою C++ у середовищі Arduino IDE, що забезпечує зручність компіляції та завантаження скетчу на мікроконтролер Arduino Uno R3. Основна функція програми полягає у регулярному зчитуванні даних з сенсорів, їх обробці, відображенні результатів на дисплеї та поданні звукового сигналу у разі досягнення критичних значень.

На початку коду здійснюється підключення необхідних бібліотек: DHT.h – для зчитування температури та вологості, SoftwareSerial.h – для обміну даними з сенсором пилу PMS5003, U8g2lib.h – для керування OLED-дисплеєм, а також Wire.h – для роботи з інтерфейсом I2C.

```
#include <DHT.h>
```

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
#include <U8g2lib.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

Далі оголошуються пін-коди для підключення сенсорів, дисплея, кнопки перемикачів режимів та бузера. Для збереження поточного режиму перегляду параметрів введено змінну.

```
#define DHTPIN 4
```

```
#define DHTTYPE DHT22
```

```
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
```

```
SoftwareSerial pmsSerial(2,3);
```

```
#define MQ135_PIN A0
```

```
#define BUTTON_PIN 5
```

```
Int currentSensor = 0;
```

```
#define BUZZER_PIN 6
```

У функції `setup()` ініціалізується серійний порт, сенсори, дисплей та інші компоненти системи. Особливу увагу приділено прогріванню сенсора MQ135, для чого реалізовано п'ятихвилинний таймер із відображенням часу, що залишився, на екрані.

Основна логіка програми реалізована у функції `loop()`, де через певний інтервал часу відбувається зчитування даних з одного із сенсорів, вибраного користувачем за допомогою кнопки. Перемикач між режимами забезпечується функцією `handleButton()`, яка оновлює змінну `currentSensor` у відповідь на натискання.

Залежно від вибраного режиму викликається одна з трьох функцій: `readDHT22()`, `readPMS5003()` або `readMQ135()`. У кожній із них реалізовано зчитування значень із відповідного сенсора, їх перевірка, форматування та виведення на OLED-дисплей.

Функція `readDHT22()` відповідає за зчитування температури та вологості. Отримані значення перетворюються у форматовані рядки та виводяться на екран. У разі помилки показується повідомлення "Помилка зчитування":

Для сенсора PMS5003 реалізована обробка 32-байтного пакета, що передається через UART. Перевіряється контрольна сума, і лише за її відповідності обчислюються значення PM2.5 і PM10. При перевищенні порогових значень (наприклад,  $PM2.5 > 70$ ) активується звуковий сигнал.

Функція `readMQ135()` зчитує аналогове значення з піну A0, що відповідає рівню забруднення повітря газами. Значення виводиться на дисплей у вигляді умовної концентрації в PPM. Як і у випадку з пилом, при перевищенні порогу вмикається бужер.

## 4 ТЕСТУВАННЯ ПРИЛАДУ

### 4.1 Перевірка функціональності системи в різних умовах

Для забезпечення ефективності системи моніторингу якості повітря було проведено ряд випробувань у різних умовах експлуатації. Метою цих тестувань було визначити стабільність роботи сенсорів, точність вимірювань, адекватність реагування на зміни параметрів довкілля, а також узгодженість виводу даних на дисплей та реакції індикаторів. Система була протестована як у закритих приміщеннях із контрольованим мікрокліматом, так і на відкритому повітрі, де показники могли суттєво змінюватися залежно від зовнішніх факторів.

Під час внутрішнього тестування пристрій було розміщено у кімнаті зі стабільною температурою та низьким рівнем забруднення. Сенсор DHT22 стабільно фіксував температуру на рівні 28–29 °С та вологість у межах 30–35 %, що відповідало реальним побутовим показникам (рис.4.1).

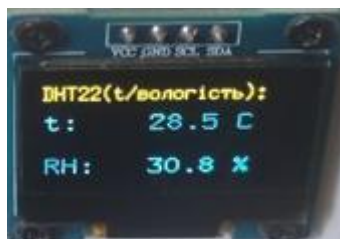


Рисунок 4.1 – Внутрішнє тестування DHT22

Водночас MQ135 показував незначні коливання, зумовлені появою запахів побутової хімії, що свідчить про його чутливість до легких сполук (рис 4.2).



Рисунок 4.2 – Внутрішнє тестування MQ135

PMS5003 виявив низький рівень часток PM2.5 і PM10, що підтверджує його здатність фіксувати навіть незначні концентрації (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 – Внутрішнє тестування PMS5003

У польових умовах пристрій було протестовано поблизу дороги з інтенсивним автомобільним рухом. У таких умовах сенсор пилу PMS5003 зафіксував значно вищі показники часток PM2.5 та PM10 – до 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , що перевищувало норму (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 – Тестування роботи PMS5003

Це супроводжувалося автоматичним спрацюванням бузера, що свідчило про успішне виконання функції тривожної індикації. DHT22 у цей час реєстрував підвищену температуру (близько 30 °C) та знижений рівень вологості, що відповідає типовим умовам асфальтованого простору в сонячний день (рис. 4.5).

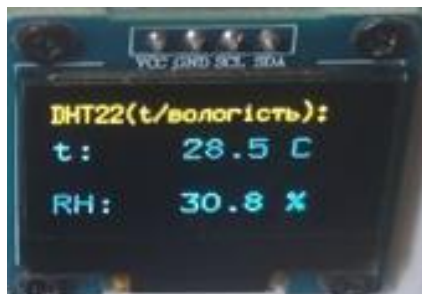


Рисунок 4.5 – Тестування DHT22

Окремо проводились експерименти з імітацією забруднення у побутових умовах. Для цього використовували джерела диму та летких речовин (наприклад, спрей або сірник), що дозволило перевірити реакцію MQ135 на зміну хімічного складу повітря. Сенсор чітко реєстрував зміну концентрації, а відповідне значення виводилось на дисплей з оновленням кожні 2 секунди. Це дозволило підтвердити чутливість пристрою до короткотривалих піків забруднення, які є типовими для житлових чи офісних приміщень(рис. 4.6).

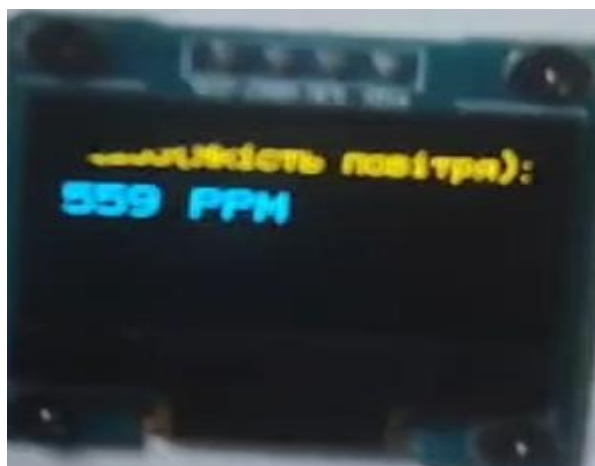


Рисунок 4.6 – Тестування MQ135

Дисплей OLED продемонстрував чітке та стабільне виведення інформації навіть за різного рівня освітлення. Значення змінювались плавно, без ривків або збоїв, а шрифти залишались читабельними. Завдяки кириличному виводу інформація була інтуїтивно зрозумілою для користувача. Крім того, циклічне перемикавання режимів перегляду через кнопку працювало безперебійно, навіть за багаторазового натискання.

Підсумовуючи результати тестування, можна стверджувати, що система показала стабільну роботу в широкому діапазоні умов: як при низькому, так і при високому рівні забруднення, у теплих і холодних середовищах, при змінній вологості.

Всі сенсори успішно виконували свої функції, а обробка даних на рівні мікроконтролера забезпечувала відповідну реакцію на зміну показників. Отже, реалізоване рішення є функціональним, придатним для практичного використання, та може бути адаптоване під різні сценарії моніторингу повітря.

#### 4.2 Аналіз виявлених недоліків та можливості вдосконалення

Під час практичного тестування прототипу системи моніторингу якості повітря було виявлено низку недоліків, які впливають на стабільність, точність або зручність експлуатації пристрою. Визначення таких аспектів дозволяє оцінити межі ефективності системи та сформулювати шляхи її подальшого вдосконалення. Загалом усі недоліки можна умовно поділити на апаратні, програмні та експлуатаційні.

На рівні апаратного забезпечення одним із перших недоліків виявилася залежність сенсора MQ135 від зовнішніх факторів, зокрема температури та вологості. В умовах високої вологості значення газової концентрації коливалися без реального джерела забруднення, що вказує на необхідність калібрування сенсора або застосування корекційних коефіцієнтів. Крім того, MQ135 вимагає тривалого прогрівання для досягнення стабільних показників, що ускладнює його миттєве використання після вмикання системи. Аналогічно, PMS5003

чутливий до напрямку повітряного потоку та положення сенсора в корпусі, що може впливати на точність вимірювання, якщо пристрій не розміщено відповідним чином.

У частині програмного забезпечення було виявлено затримки у зчитуванні даних у разі надмірного об'єму серійної передачі з PMS5003, що іноді призводило до несвоєчасного оновлення показників на дисплеї. Також існувала необхідність реалізації додаткової фільтрації шумових значень із аналогового виходу MQ135, оскільки поодинокі стрибки напруги створювали хибне враження про критичний стан повітря. Програмна логіка дозволяє легко реалізувати алгоритми усереднення, гістерезису або порогового ігнорування, які можуть знизити рівень похибки та підвищити надійність системи.

Ще одним моментом, який потребує доопрацювання, є інтерфейс взаємодії з користувачем. Незважаючи на зручність OLED-дисплея, обмежений розмір екрана не дозволяє відображати одночасно всі параметри, що змушує користувача вручну перемикатися між режимами. Це зручно у тестових умовах, однак для практичного застосування доцільно реалізувати циклічне автоматичне оновлення виводу або веб-інтерфейс з повним набором даних. Крім того, сам процес перемикання між сенсорами за допомогою кнопки потребує короткої затримки, щоб уникнути подвійних спрацювань.

З погляду енергозабезпечення, пристрій працює стабільно від USB, але при живленні від акумуляторавиникає проблемав нестачі напрузі для сенсора MQ135 який потребує стабільні 5В.Для підвищення автономності варто впровадити енергозберігаючі режими Arduino та дисплея, зокрема переведення в "sleepmode" у разі відсутності активних змін параметрів. Це особливо актуально у випадках, коли система має працювати тривалий час у польових умовах без живлення від мережі.

Щодо надійності корпусу, прилади, розміщені в звичайній коробці, не мали спеціального захисту від пилу, вологи чи механічного впливу. Це створює ризик пошкодження сенсорів у разі використання пристрою на відкритому повітрі або у вологих приміщеннях. Вирішенням цієї проблеми може стати

проектування герметичного корпусу з вентиляційними отворами, які дозволятимуть циркуляцію повітря, але при цьому захищатимуть внутрішню електроніку.

Також бажано передбачити систему кріплень, яка забезпечить стабільне положення пристрою під час роботи. Прилад працює лише локально, відображаючи дані на дисплеї. Водночас, для сучасних екосистем "розумного середовища" важливо, щоб пристрої могли передавати дані до хмари або локального сервера. Це вирішується шляхом розширення апаратної частини з підключенням Wi-Fi модуля ESP8266 або ESP32, які забезпечать бездротову синхронізацію даних. Додатково доцільно розглянути варіант збереження даних на SD-карті для подальшого аналізу.

## ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було розроблено автономну систему моніторингу якості повітря на базі мікроконтролера Arduino Uno R3, призначену для локального екологічного контролю в умовах обмеженого доступу до централізованих систем. Розглянуто сучасні джерела забруднення повітря, оцінено переваги та недоліки існуючих систем моніторингу, а також обґрунтовано доцільність використання недорогих сенсорних рішень у побуті та освітніх цілях.

Було розроблено прилад зчитування та відображення показників якості повітря. Він успішно виконує збір, обробку та виведення даних з екологічних сенсорів у реальному часі. Пристрій також забезпечує оперативне реагування на небезпечні значення за допомогою звукового сповіщення, що підвищує його практичну цінність.

Було розроблено програмне забезпечення для зчитування, фільтрації та візуалізації даних у режимі реального часу з урахуванням умов точності та енергозбереження на мові C++ з використанням Arduino IDE. Архітектура системи дозволяє гнучко адаптувати її до нових сенсорів і методів передачі даних, зокрема через Wi-Fi чи GSM.

Практичні випробування продемонстрували стабільну роботу пристрою, його здатність виявляти зміни екологічних параметрів і попереджати користувача про перевищення встановлених порогів забруднення. Було підтверджено, що застосовані сенсори мають достатню чутливість і точність для базового моніторингу, а інтеграція всіх компонентів в єдину систему можлива навіть на етапі прототипування без необхідності складного технічного обладнання.

Отримані результати мають потенціал до подальшого впровадження в освітні, громадські або наукові ініціативи з підвищення екологічної обізнаності та захисту довкілля.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Arduino.cc. Офіційний сайт розробників Arduino UNO R3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.arduino.cc/>
- 2.MQ135 Gas Sensor Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://components101.com/sensors/mq135-gas-sensor>
- 3.PMS5003 Air Quality Sensor Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.plantower.com/en/products>
- 4.DHT22 Temperature and Humidity Sensor Datasheet [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.adafruit.com/product/385>
- 5.OLED I2C Display Module Guide [Електроннийресурс]. – Режимдоступу: <https://learn.adafruit.com/monochrome-oled-breakouts/overview>
- 6.Banzi M., Shiloh M. Getting Started with Arduino. – Maker Media, 2014. – 130 p.
- 7.Бровко П.І. Мікроконтролери AVR в системах автоматики. – Київ: Наука і техніка, 2018. – 264 с.
- 8.SaveEcoBot – платформа громадського моніторингу повітря в Україні [Електронний ресурс]. – <https://www.saveecobot.com/>
- 9.PurpleAir – Air Quality Sensor Network [Електроннийресурс]. – <https://www.purpleair.com>
10. Турбаба Д.В., Моніторинг якості повітря в приміщенні / Т.Г. Рожнова, С.В. Машталяр // XV МНТК «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» . – Тези доповідей п'ятнадцятої міжнародної науково-технічної конференції (24–25квітня 2025 року). – Том 2: секція 2. – 2025. – 142 с. (С. 25–26).  
URL:[https://nure.ua/wpcontent/uploads/2025/tom\\_2\\_ict\\_2025\\_compressed.pdf](https://nure.ua/wpcontent/uploads/2025/tom_2_ict_2025_compressed.pdf)