

Міністерство освіти і науки України
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки
(повна назва кафедри)

Том'юк Роман Володимирович
Tomiuk Roman

УДК 004:681.5

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія та електроніка»
(шифр та назва спеціальності)

Кваліфікаційна робота
на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр
(бакалавр, спеціаліст, магістр)

Бездротова система моніторингу якості повітря для бліндажів: виявлення
концентрації чадного газу та захист від негативних зовнішніх факторів
Wireless air quality monitoring system for dugouts: detection of carbon monoxide
concentration and protection from negative external factors

Науковий керівник:

к.т.н., ст. викл.

Котик М.В.

Рецензент:

Івано-Франківськ

2024

| <i>Форм.</i> | <i>Зона</i> | <i>Поз.</i> | <i>Позначення</i> | <i>Найменування</i> | <i>К-ть</i> | <i>Прим.</i> |
|--------------|-------------|-----------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------|
| | | | 123. УДК 004:681.5 | Пояснювальна записка | 1 | |
| | | | 123. УДК 004:681.5 | Загальна блок-схема | 1 | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| <i>Змін.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підп.</i> | <i>Дата</i> | 123. УДК 004:681.5 | |
| Разробив | Том'юк Р.В. | | | | <i>Лім.</i> | <i>Арк.</i> |
| Перевірів | Котик М.В. | | | | | 2 |
| | | | | | Специфікація | |
| Н. Конт. | | | | | | |
| Затвердив | | | | | | |

АНОТАЦІЯ

У цій роботі представлена розробка бездротової системи моніторингу якості повітря для бліндажів із виявленням концентрації чадного газу (CO) та захисту від негативних зовнішніх факторів. Запропонована система дозволяє забезпечити швидкий контроль параметрів повітря в умовах обмеженого простору, що є критичним для підвищення безпеки людини.

У першому розділі проведено огляд літературних джерел, визначено основні забруднювачі повітря, індекси якості повітря, типи сенсорів і технології передачі даних у бездротових системах. Другий розділ присвячений аналізу функціональних характеристик і вибору компонентів системи, зокрема датчика чадного газу MQ-2, контролера ESP32, ATmega328P та інтерфейсу виведення даних на РК-дисплеї.

У третьому розділі розроблено блок-схему та програмне забезпечення для реалізації системи, описано технічне завдання на проектування. У четвертому розділі наведено результати моніторингу якості повітря, зокрема концентрації CO, а також наведено опис створеного прототипу

У п'ятому розділі виконано економічне обґрунтування доцільності розробки пристрою, а також оцінено його вартість і ефективність у реальних умовах.

Дана робота складається зі вступу, 5 розділів, висновка, 26 джерел використаної літератури, додатка, 26 рисунків, 5 таблиць.

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
|-----------|------|-------------|--------|------|-----------------|------|--------|
| Розробив | | Том'юк Р.В. | | | Літ. | Арк. | Аркуші |
| Перевірив | | Котик М.В. | | | | 4 | 1 |
| Н. Контр. | | . | | | ABSTRACT | | |
| Затвердив | | | | | | | |

ABSTRACT

This paper presents the development of a wireless air quality monitoring system for dugouts with the detection of carbon monoxide (CO) concentration and protection against negative external factors. The proposed system allows for quick control of air parameters in conditions of limited space, which is critical for increasing human safety.

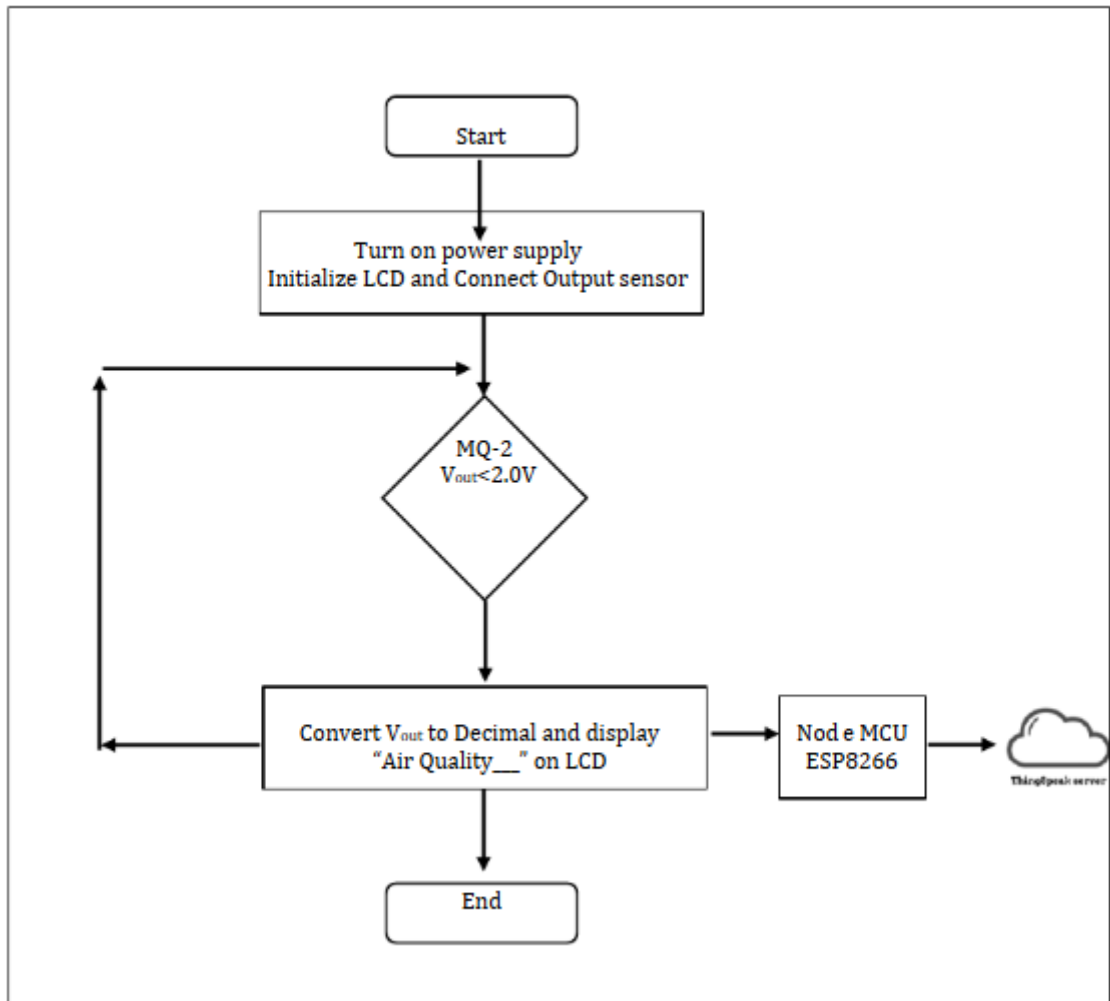
In the first chapter, a review of literary sources was carried out, the main air pollutants, air quality indices, types of sensors and data transmission technologies in wireless systems were determined. The second section is devoted to the analysis of functional characteristics and the selection of system components, in particular the MQ-2 carbon monoxide sensor, the ESP32 controller, the ATmega328P and the LCD display interface.

In the third section, a block diagram and software for implementing the system are developed, and the technical task for the design is described. In the fourth chapter, the results of air quality monitoring, in particular the CO concentration, are given, as well as a description of the created prototype

In the fifth chapter, an economic justification of the feasibility of the device's development was performed, as well as its cost and effectiveness in real conditions were evaluated.

This work consists of an introduction, 5 chapters, conclusion, 26 sources of used literature, an appendix, 26 figures, 5 tables.

| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | | |
|-----------|------|-------------|--------|------|-----------------|------|------|---------|
| Розробив | | Том'юк Р.В. | | | ABSTRACT | Літ. | Арк. | Аркушіє |
| Перевірив | | Котик М.В. | | | | | 4 | 1 |
| | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | . | | | | | | |
| Затвердив | | | | | | | | |



| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
|-----------|------|-------------|--------|------|---------------------|------|---------|
| | | | | | | | |
| Розробив | | Том'юк Р.В. | | | Літ. | Арк. | Аркушіє |
| Перевірів | | Котик М.В. | | | | 5 | 1 |
| | | | | | Загальна блок-схема | | |
| Н. Контр. | | . | | | | | |
| Затвердив | | | | | | | |

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника
Фізико-технічний факультет
Кафедра комп'ютерної інженерії та електроніки

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на тему
Бездротова система моніторингу якості повітря для бліндажів: виявлення
концентрації чадного газу та захист від негативних зовнішніх факторів

| | | | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|----------------------|-------------|-------------|----------------|
| | | | | | 123.КІ(м)-21.17 | | | |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | | | |
| Розробив | | Гом'юк Р.В. | | | Пояснювальна записка | <i>Літ.</i> | <i>Арк.</i> | <i>Аркушів</i> |
| Перевірив | | Котик М.В. | | | | | 6 | 60 |
| Н. Контр. | | | | | | | | |
| Затвердив | | | | | | | | |

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

NDIR – недисперсійне інфрачервоне поглинання

AQI - Air Quality Index

ЛОС - Летючі органічні сполуки

СО – чадний газ

ПАВ - Поліциклічні ароматичні вуглеводні

IoT - Internet of things

LCD - Liquid Crystal Display

ЦАП - Цифро-аналоговий перетворювач

АЦП - Аналого-цифрові перетворювачі

GPIO - general-purpose input/output

EEPROM - Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

SRAM - static random access memory

WSN - Wireless sensor networks

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.КІ(М)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 7 |

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 9 |
| РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 11 |
| 1.1 Якість повітря | 11 |
| 1.1.1 Забруднювачі повітря..... | 12 |
| 1.1.2 Індекс якості повітря..... | 15 |
| 1.2. Функціональні блоки бездротової сенсорної мережі на основі СО..... | 18 |
| 1.3. Типи датчиків якості повітря..... | 20 |
| 1.4. Технології передачі даних у бездротових системах..... | 22 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ..... | 26 |
| 2.1. Датчик СО MQ-2..... | 26 |
| 2.2. РК-дисплей..... | 28 |
| 2.3. Контролер ESP32..... | 31 |
| 2.4. АТМega328P..... | 33 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПУ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ДЛЯ БЛІНДАЖІВ..... | 35 |
| 3.1. Опис блок схеми..... | 35 |
| 3.2. Програмне забезпечення Arduino..... | 38 |
| 3.3. Технічне завдання на проектування..... | 39 |
| РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯ..... | 41 |
| 4.1. Результати та обговорення моніторингу якості повітря..... | 41 |
| 4.2. Прототип пристрою моніторингу якості повітря..... | 46 |
| РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА..... | 49 |
| 5.1. Розрахунок економічної ефективності розробленого пристрою..... | 49 |
| ВИСНОВКИ..... | 52 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТИ..... | 54 |
| ДОДАТОК..... | 57 |

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.КІ(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 8 |

ВСТУП

Чадний газ (CO) є отруйним забруднювачем повітря, що утворюється в результаті неповного окислення вуглецю під час процесу горіння. Він безпосередньо впливає на організм людини завдяки своїй спорідненості з гемоглобіном крові, який перешкоджає засвоєнню кисню кров'ю. Утворення карбоксигемоглобінового комплексу може серйозно впливати на здоров'я людини як в гострій, так і в хронічній формі. Вуглекислий газ також можна знайти всередині будь-якого будинку на рівні 0,5-30 частин на мільйон, оскільки він може вироблятися в результаті згорання побутових приладів, таких як обігрівач, піч, камін і вихлопні гази автомобіля в прибудованому домашньому гаражі. Оскільки CO — газ без кольору та запаху, для контролю концентрації CO в робочому середовищі необхідно встановити детектори CO.

Для навколишнього середовища найпопулярніший спосіб вимірювання CO використовує принципи недисперсійного інфрачервоного поглинання (NDIR). Іншими корисними методами є газова хроматографія з полум'яно-іонізаційним детектором (GC/FID) або методи каталітичного окислення. Агентство з охорони навколишнього середовища США (USEPA) використовує NDIR як традиційний еталонний метод для регулювання моніторингу CO. Цей метод виконується за допомогою аналізатора та необхідної стандартної газової системи, насоса, станції моніторингу, кондиціонера або обігрівача, комп'ютерного обладнання з відповідним програмуванням та іншого супутнього обладнання. Усе необхідне обладнання має розміщуватися та працювати всередині приміщення, захищене від дощу, пилу та сонячного світла. Такі профілактичні проблеми роблять цей метод складним, громіздким і дорогим.

Останні досягнення в бездротових сенсорних мережах (WSN) роблять їх привабливим рішенням для моніторингу якості повітря. Ліндсі Седерс та ін. розгорнули мережу датчиків для моніторингу якості води в озері Святої Марії на кампусі університету Нотр-Дам. Ця бездротова сенсорна мережа використовувала вузли Mica2 і MDA300 від Crossbow Inc. Cardell-Oliver та ін. розробили та оцінили мережу реактивних датчиків для моніторингу вологості

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 9 |

грунту, яка може адаптивно змінювати частоту відбору проб на основі подій з опадами. Успішне розгортання цих систем демонструє, що WSN можуть бути корисними для деяких сценаріїв екологічного моніторингу.

Дуже мало роботи було зроблено для моніторингу CO за допомогою бездротових сенсорних мереж. Agrawal та ін. вказали, що WSN можуть надавати безперервні дані про якість навколишнього повітря в реальному часі. Системи датчиків у поєднанні з мережею бездротового зв'язку забезпечують зручність розгортання та нижчу вартість експлуатації та обслуговування порівняно з технікою NDIR. Сенсорні вузли можуть живитися або від батарейок, і/або від джерел сонячної енергії. З метою моніторингу території навколо Університету Цинциннаті (UC) 5 із 15 запланованих датчиків CO було розміщено на електричних стовпах, як показано на малюнку 1. Це було зроблено для перевірки підтвердження концепції, а решта датчиків буде розміщено найближчим часом.

Об'єкт дослідження: Система моніторингу якості повітря в замкнених або обмежених приміщеннях, таких як бліндажі та укриття, де існує ризик накопичення забруднювачів повітря.

Предмет дослідження: Технічні та програмні рішення для бездротового моніторингу рівня забруднення повітря (чадний газ, інші гази) на основі сенсорної мережі, що включає датчик MQ-2, контролери (ESP32, ATmega328P) і засоби для передачі та відображення даних в реальному часі.

Мета даної роботи розробити прототип бездротової системи моніторингу якості повітря для бліндажів, яка забезпечує контроль рівня шкідливих газів, вологості та температури в режимі реального часу для покращення умов перебування військових.

Завдання даної роботи:

1. Розглянути і описати якість, вимірювання та індексацію повітря;
2. Описати функціональну характеристику вибраних компонентів;
3. Спроекувати прототип моніторингу якості повітря для бліндажів;
4. Розглянути результати моніторингу якості повітря.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Якість повітря

Чисте повітря має важливе значення для здорового способу життя, але, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), майже 99% населення планети дихає повітрям, рівень забруднення якого перевищує нормативні ліміти. «Якість повітря — це міра того, скільки речовин міститься в повітрі, включаючи тверді та газоподібні забруднюючі речовини», — сказала Крістіна Пістоун, науковий співробітник NASA Research Center Ames. Дослідження Pistone охоплюють як атмосферу, так і клімат, зосереджуючись на впливі атмосферних частинок на клімат і хмари. «Важливо розуміти якість повітря, оскільки вона впливає на ваше здоров'я та на те, наскільки добре ви можете жити своїм життям і проводити свій день», — сказав Пістоун.

Існує шість основних забруднювачів повітря, які регулюються Агентством з охорони навколишнього середовища (EPA) у Сполучених Штатах: тверді частинки (PM), оксиди азоту, озон, оксиди сірки, чадний газ і свинець. Ці забруднювачі походять із природних джерел, наприклад твердих частинок, які піднімаються в атмосферу від пожеж і пустельного пилу, або від людської діяльності, наприклад озону, який утворюється під час реакції сонячного світла на викиди транспортних засобів.

Якість повітря впливає на здоров'я та якість життя. «Так само, як нам потрібно ковтати воду, нам потрібно дихати повітрям», — сказав Пістоун. «Ми звикли очікувати чистої води, тому що ми розуміємо, що вона потрібна нам, щоб жити та бути здоровими, і ми повинні очікувати того ж від нашого повітря».

Погана якість повітря була пов'язана з серцево-судинними та респіраторними наслідками для людей. Короткочасний вплив діоксиду азоту (NO₂), наприклад, може викликати респіраторні симптоми, такі як кашель і хрипи, а тривалий вплив підвищує ризик розвитку респіраторних захворювань, таких як астма або респіраторні інфекції. Вплив озону може погіршити стан легенів і пошкодити дихальні шляхи. Вплив PM_{2,5} (частинки розміром 2,5 мікрметра або менше) викликає подразнення легенів і пов'язаний із захворюваннями серця та легенів.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 11 |

Окрім впливу на здоров'я людини, погана якість повітря може завдати шкоди навколишньому середовищу, забруднюючи водойми через підкислення та евтрофікацію. Ці процеси вбивають рослини, виснажують поживні речовини ґрунту та шкодять тваринам.

Якість повітря набула все більшого значення, багато урядів та установ сформулювали багато стандартів для її моніторингу та регулювання. У цьому проекті [1] використовується стандарт індексу якості повітря (AQI) для встановлення базових рівнів і порогів небезпеки для виміряних забруднювачів повітря.

Рівні для цих забруднюючих речовин, якщо вони вважаються шкідливими, визначено в публікації ЕРА, таблиця 1 показує дозволені рівні.

Таблиця 1. Рівні ЕРА

| Забруднювач | Час усереднення | Рівень |
|------------------------|-----------------|-----------------------|
| Чадний газ | 1-годинний | 35 ppm |
| Чадний газ | 8-годинний | 9 ppm |
| Діоксид азоту | 1-годинний | 100 часток на мільярд |
| Озон | 8-годинний | 80 часток на мільярд |
| Озон | 1-годинний | 120 часток на мільярд |
| Забруднення частинками | 24-годинний | 35 мкг/м ³ |

1.1.1 Забруднювачі повітря

Забруднення повітря є відомою небезпекою для здоров'я навколишнього середовища.

Це серйозна загроза для глобального здоров'я та процвітання. Забруднення повітря у всіх формах є причиною понад 6,5 мільйонів смертей щороку в усьому світі, і ця кількість зростає за останні два десятиліття.

Забруднення повітря є сумішшю небезпечних речовин як антропогенними, так і природними джерелами.

Викиди транспортних засобів, мазут і природний газ для опалення будинків, побічні продукти виробництва та виробництва електроенергії, зокрема електростанцій, що працюють на вугіллі, і випари хімічного виробництва є основними джерелами антропогенного забруднення повітря.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

Природа викидає в повітря небезпечні речовини, такі як дим від лісових пожеж, які часто викликані людьми; попіл і гази від вивержень вулканів; і гази, такі як метан, які виділяються в результаті розкладання органічних речовин у ґрунтах.

Трафікове забруднення повітря (TRAP), суміш газів і частинок, містить більшість елементів антропогенного забруднення повітря: приземний озон, різні форми вуглецю, оксиди азоту, оксиди сірки, летючі органічні сполуки, поліциклічні ароматичні вуглеводні та дрібні тверді частинки.

Озон, атмосферний газ, на рівні землі часто називають смогом. Він утворюється, коли забруднюючі речовини, що викидаються автомобілями, електростанціями, промисловими котлами, нафтопереробними заводами та іншими джерелами, вступають у хімічну реакцію під дією сонячного світла.

Шкідливі гази, які включають вуглекислий газ, монооксид вуглецю, оксиди азоту (NOx) і оксиди сірки (SOx), є компонентами викидів автомобілів і побічними продуктами промислових процесів.

Тверді частинки (PM) складаються з таких хімічних речовин, як сульфати, нітрати, вуглець або мінеральний пил. Викиди транспортних засобів і промислові викиди від спалювання викопного палива, сигаретний дим і спалювання органічних речовин, наприклад лісові пожежі, містять PM.

Частина PM, дрібних твердих частинок (PM 2,5), у 30 разів тонша за людську волосину. Він може проникнути глибоко в легеневу тканину і спричинити серйозні проблеми зі здоров'ям. PM 2,5 найбільше впливає на здоров'я через забруднення повітря в США.

Летючі органічні сполуки (ЛОС) випаровуються при кімнатній температурі або близько до неї, отже, позначення летких. Органічними їх називають тому, що містять вуглець. ЛОС виділяють фарби, засоби для чищення, пестициди, деякі предмети меблів і навіть матеріали для рукоділля, такі як клей. Бензин і природний газ є основними джерелами ЛОС, які виділяються під час згорання.

Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) — органічні сполуки, що містять вуглець і водень. З понад 100 ПАУ, які, як відомо, широко поширені в

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 13 |

навколишньому середовищі, 15 перераховані у Звіті про канцерогени. Окрім спалювання, багато промислових процесів, таких як виробництво чавуну, сталі та гумових виробів, а також виробництво електроенергії, також виробляють ПАУ як побічний продукт. ПАУ також містяться у твердих частинках.

Критерії забруднювачів повітря включають озон, діоксид азоту, діоксид сірки, чадний газ, свинець і тверді частинки.

Тверді частки включають частинки діаметром 2,5 мікрметра і менше, а також частинки більше 2,5 мікрметра, але менше 10 мікрметрів. Їх зазвичай називають $PM_{2,5}$ і PM_{10} відповідно, і щоб дати уявлення про їх розмір, рисунок 1.1. Звичайними джерелами забруднення PM є автомобілі та заводи [2].

NO_2 – це реактивний газ, який швидко утворюється при контакті з навколишнім повітрям. Його основним джерелом також є фабрики та автомобілі, і він походить або від викидів, або утворюється в результаті хімічної реакції. У багатьох дослідженнях було зазначено, що це є причиною респіраторних захворювань [3].



Рисунок 1.1. Розмір твердих частинок

CO – це безбарвний газ без запаху, який на відкритому повітрі утворюється внаслідок неповного згоряння двигунів, що працюють на газі чи дизелі [2]. Вища концентрація CO завжди пов'язана з зонами інтенсивного руху.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

O₃ є результатом хімічної реакції між леткими органічними сполуками (ЛОС) і оксидами азоту (NOX), у міських містах основним фактором є вихлопні гази автомобільного транспорту.

Забруднення повітря та зміна клімату впливають одне на одного через складні взаємодії в атмосфері. Забруднення повітря тісно пов'язане зі зміною клімату, оскільки обидві проблеми походять здебільшого з тих самих джерел, наприклад, викидів від спалювання викопного палива. І те, і інше є загрозою для здоров'я людей і навколишнього середовища в усьому світі.

1.1.2. Індекс якості повітря

Індекс якості повітря (AQI) – це інструмент ЕРА для інформування про якість зовнішнього повітря та здоров'я. AQI включає шість кольорових категорій, кожна з яких відповідає діапазону значень індексу. Чим вище значення AQI, тим вищий рівень забруднення повітря і тим більше занепокоєння для здоров'я. Наприклад, значення AQI 50 або нижче означає хорошу якість повітря, тоді як значення AQI понад 300 означає небезпечну якість повітря.

Для кожного забруднювача значення AQI 100, як правило, відповідає концентрації в атмосферному повітрі, яка дорівнює рівню короткострокового національного стандарту якості атмосферного повітря для захисту здоров'я населення. Значення AQI на рівні 100 або нижче зазвичай вважаються задовільними. Коли значення AQI вище 100, якість повітря нездорова: спочатку для певних чутливих груп людей, потім для всіх, оскільки значення AQI підвищуються.

AQI поділяється на шість категорій. Кожна категорія відповідає різному рівню занепокоєння здоров'ям. Кожна категорія також має певний колір. За допомогою цього кольору людям легко визначити, чи якість повітря в їхніх громадах досягає нездорового рівня(табл.2).

Таблиця 2. Основи AQI для забруднення озоном і частинками

| Щоденний колір AQI | Рівні занепокоєння | Значення індексу | Опис якості повітря |
|--------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| Зелений | добре | від 0 до 50 | Якість повітря |

| | | | |
|--------------|------------------------------|------------|--|
| | | | задовільна, і забруднення повітря не становить небезпеки або не становить жодного ризику. |
| Жовтий | Помірний | 51 до 100 | Якість повітря прийнятна. Однак для деяких людей, особливо для тих, хто надзвичайно чутливий до забруднення повітря, може бути ризик. |
| Помаранчевий | Нездоровий для чутливих груп | 101 до 150 | Члени чутливих груп можуть мати наслідки для здоров'я. Менш імовірно, що це вплине на широку громадськість. |
| Червоний | Нездоровий | 151 до 200 | Деякі представники широкої громадськості можуть відчувати вплив на здоров'я; члени чутливих груп можуть мати більш серйозні наслідки для здоров'я. |
| Фіолетовий | Дуже нездоровий | 201 до 300 | Попередження про |

| | | | |
|----------|-------------|------------|--|
| | | | здоров'я: ризики для здоров'я підвищуються для всіх. |
| Бордовий | небезпечний | 301 і вище | Медичне попередження про надзвичайні ситуації: імовірність постраждати у всіх є більшою. |

Найпоширенішою формою звітності про якість повітря для населення є індекс якості повітря (AQI), одиниця мінус значення. AQI виводиться шляхом спочатку обчислення індивідуальних індексів якості повітря критеріальних забруднювачів, а потім взяття максимального забруднювача з найвищим індексом[4].

AQI розраховується за формулою лінійної інтерполяції і виконується для доступних критеріїв забруднюючих речовин. У даному випадку він буде розрахований з використанням NO₂, CO та O₃, PM виключено, оскільки датчик не дає підрахунок частинок діаметром 2,5 або 10 мікрометрів.

$$I_P = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_p - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

, де I_p = індекс для забруднювача p ;

C_p = округлена концентрація забруднювача p ;

BP_{Hi} = точка розриву, яка більше або дорівнює C_p ;

BP_{Lo} = точка розриву, яка менша або дорівнює C_p ;

I_{Hi} = значення AQI, що відповідає BP_{Hi} ;

I_{Lo} = значення AQI, що відповідає BP_{Lo} ;

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|-----------------|------|
| | | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | 17 |

Шкала AQI змінюється від 0 до 500 і встановлюється шляхом взяття найвищого з окремих забруднюючих речовин AQI(IAQI). Наприклад, заданий розрахований IAQI для NO₂ становить 82, CO дорівнює 34 і O₃ дорівнює 65, тоді AQI дорівнює 82, відповідальним забруднювачем є NO₂ [4].

1.2. Функціональні блоки бездротової сенсорної мережі на основі CO

Кожен сенсорний блок складається з п'яти функціональних частин: аналоговий сенсорний блок, плата збору даних, бездротовий радіомодуль, сонячний зарядний блок і радіоантена.

1. Аналоговий сенсорний блок.

Блок аналогового датчика містить датчик CO та плату підсилення сигналу. Існує три поширені технології виявлення CO, які використовуються в датчиках CO: хіміоптична, напівпровідникова та електрохімічна. Хіміоптична технологія імітує реакцію людського гемоглобіну на CO шляхом визначення кількості інфрачервоного світла, що проходить. Ця швидкість зміни інфрачервоного світла через датчик використовується для визначення рівня концентрації чадного газу. Основний недолік полягає в тому, що датчик може необоротно накопичувати CO та інші забруднювачі з часом і може викликати помилкові тривоги. Крім того, необхідність постійної заміни батарей і датчиків також може бути дорогим.

Напівпровідниковий датчик є найстарішим датчиком чадного газу. Ця технологія використовує контрольовану кількість діоксиду олова як чутливий елемент. Зміна опору датчика залежить від концентрації CO. Недоліком цього типу датчика є більш високе енергоспоживання, ніж у інших. Електрохімічні сенсори здебільшого використовують кислоту як електроліт і платину як каталізатор для розщеплення чадного газу та вивільнення електронів. Хімічна реакція у випадку утворення газу CO:



У результаті цієї реакції електрони індукують невеликий струм між двома електродами, пропорційний концентрації CO. Для нашого застосування моніторингу навколишнього повітря концентрація CO низька і зазвичай не

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(M)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 18 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

перевищує 50 частин на мільйон. Датчик CO має бути дуже точним і реагувати на низьку концентрацію CO. Таким чином, серед трьох датчиків електрохімічні датчики, як правило, дають більш точні концентрації CO та є недорогими порівняно з іншими. У навколишньому середовищі прямий вихідний сигнал датчика становить приблизно 48 нА/ppm. Операційний підсилювач ТІ використовується, щоб посилити низький сигнал від датчика CO та зробити його достатньо великим для аналого-цифрового перетворювача. Резистори та конденсатори використовуються, щоб зробити схему стабільною та підтримувати низький рівень шуму.

2. Плата збору даних і бездротовий радіомодуль.

Оскільки вихідний сигнал CO залежить від температури та вологості, потрібно виміряти ці три сигнали (CO, температуру та вологість), щоб відкалібрувати показання датчика CO. Для бездоганної інтеграції датчиків використовується плата збору даних MDA300 виробництва Crossbow, яка пропонує кілька аналогових і цифрових каналів. Бездротове радіо MicaZ із трансивером Chipcon CC2420 передає вологість, температуру та рівень CO у попередньо запрограмованому порядку та зберігається в мікроконтролері Atmega128L на платі Amtel MDA300 2,4 ГГц. Дані датчика можуть бути передані іншим сенсорним вузлам на шляху до шлюзового вузла, який поєднується з ноутбуком як базовою станцією для зберігання даних у реальному часі на шлюзі та доступності в Інтернеті.

3. Радіоантена та сонячна зарядка.

Для цього застосування було необхідно передати сигнал датчика на велику відстань, і було оцінено різні антени та бездротові радіостанції. Було протестовано Mica2 433 МГц, MicaZ і MicaZ із зовнішніми антенами Hyperlink 8,5dbi. Зовнішня антена 8,5 dbi використовується для збільшення діапазону передачі 30 футів для оригінальної антени MicaZ до понад 200 футів. Випробування проводилися на даху будівлі, що забезпечує рівний рельєф. Мережі датчиків потрібно було безперервно надсилати дані принаймні кілька місяців, і після розгортання на висоті 15 футів на стовпах інженерних мереж було

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(М)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 19 |

не дуже зручно замінювати батареї. Тому для безперервного постачання електроенергією була вбудована сонячна зарядна установка heliomote.

1.3. Типи датчиків якості повітря

Датчики якості повітря є інструментом для визначення якості навколишнього повітря. Його основний принцип роботи полягає у реалізації виявлення та моніторингу якості навколишнього повітря шляхом визначення впливу газових компонентів у навколишньому середовищі на внутрішній сигнал датчика[5].

За принципом роботи типи датчиків якості повітря:

1. Лазерний датчик розсіювання

Датчики лазерного розсіювання використовують взаємодію розсіювання та відбиття між лазерним променем і частинками для визначення концентрації твердих частинок у повітрі. Характеризується широким діапазоном вимірювань, швидкістю відгуку та високою точністю. Він підходить для моніторингу якості повітря в приміщенні та на вулиці, моніторингу промислових вихлопних газів та інших сценаріїв(рис.1.2.).



Рисунок 1.2. Лазерний датчик розсіювання

2. Електрохімічні сенсори

Електрохімічні датчики використовують реакцію газу з поверхнею електрода для генерування електронів для вимірювання концентрації компонентів газу. Він характеризується високою чутливістю і може виявляти ряд

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 20 |

концентрацій токсичних газів. Він підходить для таких сценаріїв, як пожежні сповіщувачі та монітори безпечного газу(рис.1.3.).



Рисунок 1.3. Електрохімічні сенсори

3. Датчик теплопровідності

Датчик теплопровідності — це прилад для вимірювання концентрації газу, заснований на законі теплопровідності, який використовує теплопровідність термістора та нагрівального дроту для вимірювання концентрації газу. Він характеризується високою точністю, швидкою реакцією та простою структурою. В основному він підходить для побутових очищувачів повітря, автомобільних очищувачів повітря та інших сценаріїв(рис.1.4.).



Рисунок 1.4. Датчик теплопровідності

4. Оптичний датчик

Оптичний датчик — це датчик, заснований на принципі поглинання світла, який використовує ефект поглинання газу світлом певної довжини хвилі для вимірювання концентрації компонентів газу. Він характеризується високою чутливістю, швидким відгуком і одночасним визначенням декількох компонентів газу. Він підходить для моніторингу якості повітря в приміщеннях і на вулиці,

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 21 |

моніторингу викидів промислових відпрацьованих газів та інших сценаріїв(рис.1.5.).



Рисунок 1.5. Оптичний датчик

1.4. Технології передачі даних у бездротових системах

Інтернет речей (IoT) може отримати швидкий старт за допомогою LoRaWAN. LoRa — це специфікація телекомунікаційної мережі, яка підходить для зв'язку на великій відстані з низьким енергоспоживанням. Він надзвичайно підходить для обміну даними між різними об'єктами, такими як автобусні зупинки, сміттєві баки та ліхтарні стовпи. TTN (The Things Network) хоче побудувати відкриту та безкоштовну бездротову мережу по всьому світу за допомогою технології LoRa. Мета полягає в тому, щоб «забезпечити широке підключення до даних для IoT, щоб додатки та бізнес могли процвітати».

LoRa дозволяє будь-якому спілкуватися в Інтернеті без використання 3G або Wi-Fi. Споживання батареї низьке, радіус дії великий, а пропускна здатність обмежена. Іншими словами: ідеально підходить для Інтернету речей. Цю мережу можна використовувати для зв'язку з бездротовими датчиками/виконавчими механізмами, створюючи незліченну кількість нових додатків, які тепер можна розробити за низькі витрати. Деякі очевидні застосування: визначення місцезнаходження вашого велосипеда, домашньої тварини чи сумочки або дистанційне відкриття/закриття годівниці, крана, воріт чи огорожі. LoRa означає великий діапазон і є специфікацією глобальної мережі (WAN). Він призначений для обладнання, якому не потрібне постійне підключення до Інтернету, але час від часу потрібно передавати деякі дані. Мережа має радіус дії від 2,5 до 15

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

кілометрів на щоглу. Швидкість Інтернету становить від 0,3 до 50 кбіт/с, а батарея тримає дуже довго.

Технологія забезпечує безпечний двосторонній зв'язок, мобільність і послуги визначення місця розташування. Він обіцяє безперервну взаємодію між розумними речами без потреби в усіляких складних інсталяціях локально. Завдяки низькому енергоспоживанню, низькій вартості порівняно з іншими технологіями та можливості створення власних безпечних мереж мережа LoRa (WAN) може стати маховиком для Інтернету речей (IoT)(рис.1.6.).



Рисунок 1.6. LoRa

Архітектура LoRa складається зі шлюзів, мережевих серверів і серверів додатків. Використовуються радіочастотні чіпи (RFID), які передають розширений спектр. Розширений спектр — це форма бездротового зв'язку, у якій енергія переданого сигналу свідомо розподіляється в певній частотній області. Такі сигнали мають набагато більшу смугу пропускання, ніж інформація, яку вони містять, створюючи шумовий сигнал, який важко виявити або перехопити. Крім того, важко порушити сигнал розширеного спектру іншим сигналом. Ці властивості роблять розширений спектр ідеальним для програм і середовищ, де потрібна висока надійність сигналу.

LoRa особливо підходить, наприклад, для розумних міст. Муніципалітет має незліченну кількість конкретних програм, які часто не пов'язані між собою. Паркомати, системи контролю дорожнього руху, моніторинг розташування машин швидкої допомоги, пожежних і поліцейських машин, очищення повітря в школах і державних будівлях, громадських установах і цей список можна продовжувати. Завдяки LoRaWAN муніципалітети мають гарну можливість

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 23 |

об'єднати свої незліченні додатки IoT за доступною ціною. Завдяки всім даним, що надходять від датчиків LoRa, у поєднанні з інформацією від об'єднаних систем, муніципалітет має гарне уявлення про те, де знаходяться потреби громадян і як можна оптимально витратити податкові гроші. Наприклад, підземні сміттєві контейнери можуть бути оснащені датчиками, які подають сигнал, коли контейнер заповнений. Тоді сміттєзбірна служба може цілеспрямовано та ефективно спорожнити контейнери.[6]



Рисунок 1.7. ZigBee

ZigBee — це радіостандарт або протокол бездротового зв'язку на основі стандарту IEEE 802.15.4, який забезпечує зв'язок між мережевими пристроями. Стандарт радіо був розроблений Альянсом стандартів підключення (раніше ZigBee Alliance) і працює в безліцензійному діапазоні 2,4 ГГц(рис.1.7). [7]

ZigBee характеризується високою надійністю, масштабованістю та безпекою та відіграє важливу роль у секторі IoT, особливо в додатках, які потребують низьких швидкостей передачі даних та низького енергоспоживання. Завдяки своїй здатності створювати рентабельні та енергоефективні мережі ZigBee допоміг розповсюдити рішення IoT у багатьох галузях.

Існує три типи ролей пристроїв у мережі ZigBee:

- Координатор: координатор, або міст, є центральним пристроєм у мережі ZigBee. Він ініціалізує мережу, керує безпекою та зберігає інформацію про структуру мережі. У кожній мережі ZigBee є лише один координатор.
- Маршрутизатор: маршрутизатори важливі для пересилання пакетів даних у мережі та, таким чином, дозволяють розширювати мережу на

| | | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|--|-----------------|------|
| | | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | | 24 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |

великі відстані. Вони також можуть виступати в якості проміжних пристроїв для інших пристроїв ZigBee.

- Кінцевий пристрій: Кінцеві пристрої – це найпростіші пристрої в мережі ZigBee. Вони спілкуються лише з одним маршрутизатором або координатором і не пересилають дані іншим пристроям.

Те, як працює ZigBee, залежить від структури зв'язку, оскільки пристрої ZigBee можна з'єднувати один з одним за допомогою різних мережевих схем. Зіркоподібна топологія та схема сітки особливо важливі.

На основі зіркоподібної форми всі мережеві пристрої спілкуються один з одним через єдиний вузол, координатор, у зіркоподібній схемі. Координатор запускає мережу ZigBee і вибирає вільний радіоканал. Він передає цей канал маршрутизаторам і кінцевим пристроям, які приєднуються до мережі. Кожен учасник отримує унікальну адресу, яка використовується для спілкування всередині мережі. Маршрутизатори розширюють мережу, додаючи додаткові пристрої та пересилаючи дані. Кінцеві пристрої підключаються до наступного маршрутизатора або координатора для надсилання та отримання своїх даних.

Основною перевагою ZigBee є підтримка сітчастих мереж. У сітчастій схемі пристрої не тільки безпосередньо спілкуються з координатором, але й передають сигнали за потреби. У конкретних термінах це означає, що кожен мережевий пристрій, який постійно живиться, використовується як маршрутизатор для зв'язку. Це значно покращує радіус дії та надійність мережі, оскільки дані можуть приймати альтернативні маршрути, якщо пристрій виходить з ладу або сигнал блокується.

ZigBee використовує власний радіопротокол для зв'язку. Протокол ZigBee складається з кількох рівнів. Рівень керування доступом до середовища (MAC) стандарту забезпечує доступ до радіосередовища, тоді як мережевий рівень ZigBee відповідає за пошук маршруту та пересилання даних. Прикладний рівень визначає конкретні профілі та кластери, які стандартизують зв'язок між різними типами пристроїв.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 25 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТА ВИБІР КОМПОНЕНТІВ

З розвитком сучасної економіки вміст вуглекислого газу, що виробляється цими галузями, також збільшився, що спричиняє глобальне потепління, руйнування озонового шару, а також впливає на здоров'я людини. Сучасні системи не можуть забезпечити дієвий та дієвий контроль цих параметрів, і вони можуть бути не помічені через використання людської праці. Забруднення від різних секторів, таких як паперова промисловість, зростає. Цементна промисловість є небезпечною та забруднює повітря та воду.

Представлений тут підхід використовує технологію IoT для вирішення цих проблем. Використовуючи технологію IoT, стежимо за деталями роботи, а також стежимо за забрудненням. Якщо забруднення перевищує ліміт, наша найсучасніша система активує сигнал тривоги та гарантує, що бізнес не перевищить ліміт. Такий підхід не тільки забезпечує сталість навколишнього середовища, але й заохочує до термінових втручань, щоб зробити рослинництво більш ефективним, заохочуючи його. і відіграє важливу роль в обробці якісної інформації. Інтеграція різних компонентів, таких як датчик CO2 MQ-2, контролер ESP32, LCD 16x2, зумер, мікроконтролер Arduino ATmega328P, датчик DHT11 і датчик CO2 серії MQ, формує основу системи моніторингу повітря.

2.1. Датчик CO MQ-2

Датчик MQ2 є одним із найбільш широко використовуваних у серії датчиків MQ. Це датчик MOS (металооксидний напівпровідник). Сенсори на основі оксиду металу також відомі як хемірезистори, оскільки вимірювання базується на зміні опору чутливого матеріалу під впливом газів. [8]

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 2.1. Датчик MQ2

Датчик газу MQ2 працює від 5 В постійного струму та споживає приблизно 800 мВт. Він може виявляти концентрації LPG, диму, алкоголю, пропану, водню, метану та чадного газу в діапазоні від 200 до 10000 частин на мільйон.

Зверніть увагу, що датчик газу MQ2 виявляє кілька газів, але не може їх ідентифікувати! Це нормально; більшість датчиків газу працюють таким чином. Тому він найкраще підходить для вимірювання змін у відомій густині газу, а не для виявлення того, яка з них змінюється.

MQ2 — це датчик, що керується обігрівачем. Тому він покритий двома шарами тонкої сітки з нержавіючої сталі, відомої як «антивибухова мережа». Це гарантує, що нагрівальний елемент всередині датчика не спричинить вибух, оскільки ми відчуваємо легкозаймісті газу.



Рисунок 2.2. Датчик MQ2

Він також захищає датчик і відфільтровує зважені частинки, дозволяючи лише газоподібним елементам проходити через камеру. Затискне кільце з мідним покриттям кріпить сітку до решти корпусу.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 27 |

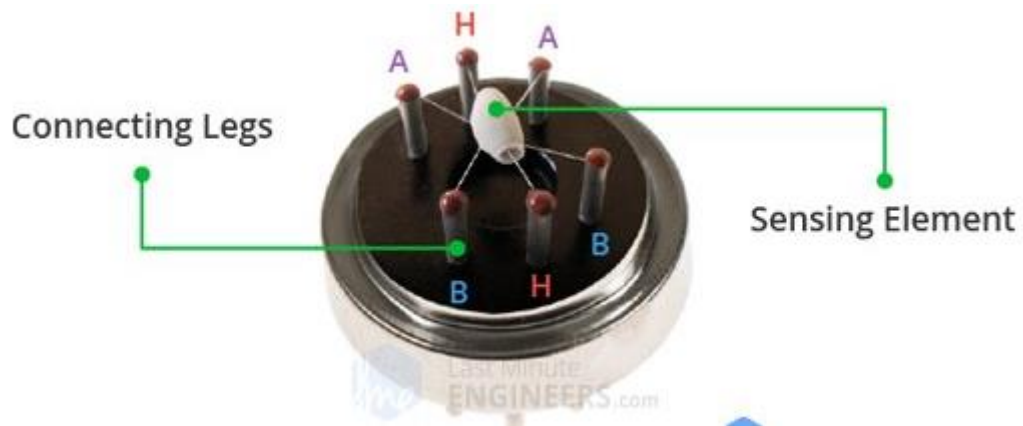


Рисунок 2.3. Датчик MQ2

Коли зовнішня сітка знята, датчик виглядає так. Чутливий елемент і шість сполучних ніжок, які виходять за межі бакелітової основи, утворюють структуру у формі зірки. Два (H) із шести проводів відповідають за нагрівання чутливого елемента та з'єднані разом нікель-хромовою котушкою (добре відомий провідний сплав).

Решта чотири сигнальні дроти (A і B) з'єднані платиновими проводами. Ці дроти з'єднані з корпусом чутливого елемента та передають незначні коливання струму, що протікає через чутливий елемент.

У таблиці 3 наведені технічні характеристики датчика CO MQ-2

Таблиця 3. Технічні характеристики

| | |
|----------------------------|-----------------|
| Робоча напруга | 5V |
| Опір навантажень | 20 KΩ |
| Опір нагрівача | 33Ω ± 5% |
| Споживання опалення | <800mw |
| Сенсорний опір | 10 KΩ – 60 KΩ |
| Діапазон концентрації | 200 – 10000ppm |
| Час попереднього розігріву | Більше 24 годин |

2.2. РК-дисплей

РК-дисплей (рідкокристалічний дисплей) — це тип плоскпанельного дисплея, який використовує рідкі кристали як основну форму роботи. Світлодіоди мають великий і різноманітний набір варіантів використання для

споживачів і компаній, оскільки їх зазвичай можна знайти в смартфонах, телевізорах, комп'ютерних моніторах і панелях приладів.

ПК-дисплеї стали великим кроком у розвитку технології, яку вони замінили, включаючи світлодіодні (LED) і газоплазмові дисплеї. ПК-дисплеї дозволили дисплеям бути набагато тоншими, ніж технологія електронно-променевої трубки (CRT). ПК-дисплеї споживають набагато менше електроенергії, ніж світлодіодні та газові дисплеї, оскільки вони працюють за принципом блокування світла, а не його випромінювання. Там, де світлодіод випромінює світло, рідкі кристали в ПК-дисплеї створюють зображення за допомогою підсвічування. [9]

Оскільки ПК-дисплеї замінили старі технології відображення, ПК-дисплеї почали замінювати нові технології відображення, такі як OLED.

Дисплей складається з мільйонів пікселів. Якість дисплея зазвичай стосується кількості пікселів; наприклад, дисплей 4K складається з 3840 x 2160 або 4096 x 2160 пікселів. Піксель складається з трьох субпікселів; червоний, синій і зелений, які зазвичай називають RGB. Коли субпікселі в пікселі змінюють кольорні комбінації, може бути створений інший колір. Оскільки всі пікселі на дисплеї працюють разом, дисплей може створювати мільйони різних кольорів. Коли пікселі швидко вмикаються та вимикаються, створюється зображення.

Спосіб керування пікселем відрізняється для кожного типу дисплея; ЕПТ, світлодіодні, ПК-дисплеї та новіші типи дисплеїв усі контрольні пікселі відрізняються. Коротше кажучи, ПК-дисплеї підсвічуються підсвічуванням, а пікселі вмикаються та вимикаються електронним способом, використовуючи рідкі кристали для обертання поляризованого світла. Поляризаційний скляний фільтр розміщений спереду та позаду всіх пікселів, передній фільтр розміщений під кутом 90 градусів. Між обома фільтрами знаходяться рідкі кристали, які можна вмикати та вимикати за допомогою електроніки.

ПК-дисплеї виготовляються або з пасивною матрицею, або з активною матрицею. ПК-дисплей з активною матрицею також відомий як тонкоплівковий транзисторний (TFT) дисплей. Пасивний матричний LCD має сітку провідників з

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 29 |

пікселями, розташованими на кожному перетині сітки. Струм надсилається через два провідники в сітці, щоб контролювати світло будь-якого пікселя. Активна матриця має транзистор, розташований на перетині кожного пікселя, що потребує меншого струму для керування яскравістю пікселя. З цієї причини струм в дисплеї з активною матрицею можна вмикати та вимикати частіше, покращуючи час оновлення екрана.

Принцип роботи РК-дисплея полягає в управлінні світловим дисплеєм шляхом управління рідким кристалом за допомогою електродвигуна, щоб він міг легко відображати текст і зображення. Його сумісність із різноманітними мікроконтролерами та простота використання роблять його популярним вибором для вчених, які шукають миттєвий візуальний зворотний зв'язок у своїй роботі, наприклад температуру, природні шари та інтерфейс користувача для різних програм. РК-дисплей 16x2 діє як інтерфейс між системою та користувачем, надаючи візуальну інформацію в реальному часі. Його інтеграція вимагає підключення до мікроконтролера через канал зв'язку або канал зв'язку, який відображає важливі характеристики, такі як температура, вологість, рівень CO та концентрація CO₂.

Налаштовані алгоритми оптимізують використання РК-дисплея, зменшуючи енергоспоживання, не впливаючи на зчитування. Це тихі звуки, які корисні для створення тривоги і повідомлень. Зазвичай він складається з котушки та діафрагми, яка вібрує у відповідь на електричний струм і видає звук потрібної частоти. Існують різні типи модулів зумерів, включаючи пасивні зумери та активні зумери, з різними інтерфейсами керування та керування. Дослідники часто інтегрують звукові сповіщення у свої проекти, щоб забезпечити зворотний зв'язок, наприклад сигнали тривоги, сповіщення та звіти про стан, щоб покращити взаємодію та взаємодію з користувачем, аж до інтерактивних моделей у таких програмах, як системи безпеки. Додавання звукового сповіщення збільшує функціональність системи, надаючи звукові сповіщення про задані або ненормальні умови. Його інтеграція передбачає налаштування контактів GPIO для створення спеціальних звуків або шаблонів, які сповіщають користувачів про

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 30 |

критичні події, такі як небезпечний рівень масла або несправності. Використовуючи технологію широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), інтенсивність і тривалість звуку дзвінка можна регулювати відповідно до різних умов перегляду.

Деякі РК-дисплеї з пасивною матрицею мають подвійне сканування, тобто вони двічі сканують сітку струмом за той самий час, який потрібен для одного сканування в оригінальній технології. Проте активна матриця все ще є кращою технологією з двох.



Рисунок 2.4. РК-дисплей

2.3. Контролер ESP32

ESP32 — це єдиний комбінований чіп Wi-Fi і Bluetooth на частоті 2,4 ГГц, розроблений за технологією TSMC з низьким споживанням 40 нм. Він розроблений для досягнення найкращої потужності та радіочастотних характеристик, демонструючи міцність, універсальність і надійність у різноманітних додатках і сценаріях живлення. [10]

Контролер ESP32 — це універсальний мікроконтролер, відомий своєю високою продуктивністю та потужними функціями, що робить його основою IoT (Інтернет речей) і світу технологій. Він працює на базі двоядерного процесора TenSi LX6, який може забезпечити обчислювальну потужність для вирішення складних завдань, зберігаючи низьке енергоспоживання. ESP32 оснащений вбудованими можливостями Wi-Fi і Bluetooth для безперебійного підключення до Інтернету та інших пристроїв, що забезпечує легкий обмін даними та дистанційне керування. Їх багате апаратне забезпечення, яке включає контакти GPIO, АЦП, ЦАП і комунікаційні інтерфейси, дає дослідникам гнучкість у взаємодії з різними

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 31 |

датчиками та виконавчими механізмами, що робить їх ідеальними для всього, від домашньої автоматизації до моніторингу бізнесу. Відомий своєю універсальністю та продуктивністю, контролер ESP32 є мозком тіла.

ESP32 використовує свою двоядерну архітектуру та вбудовані можливості Wi-Fi для організації безперебійного зв'язку між датчиками, периферійними пристроями та хмарою. Інтеграція передбачає програмування та налаштування контактів GPIO для створення з'єднань з іншими пристроями, одночасно забезпечуючи енергоефективність і ефективність передачі даних. Огляд Цей пристрій відомий своєю простотою, надійністю та зручністю використання. Він складається з 16 рядків і 2 рядків буквено-цифрових символів і надає компактну, але актуальну інформацію для представлення інформації в системі.(рис.2.5.)

Особливості:

- Джерело живлення: від 6,5 до 36 В постійного струму
- входи струму 0-20 мА з 2 входами напруги 0-10 В: роздільна здатність 12 біт, точність 0,1 %
- струм 0/4-20 мА з 2 х напругою 0-10 В виходи: роздільна здатність 12 біт, програмно програмована
- 2 цифрові входи: оптоізольовані, двонаправлені, від 0 до 30 В
- входи/виходи загального призначення: програмні
- 2 х релейні виходи: реле SPST номінальним струмом 5 А, 250 В змінного струму / 30 В постійного струму
- 2 виходи з відкритим колектором: 300 мА
- 1 х 5 В допоміжного джерела живлення: 300 мА
- Протокол: віртуальний послідовний драйвер ASCII через USB або RS-485
- Легко підключайте кілька пристроїв, розташованих далеко один від одного, за допомогою RS-485
- Підключення до інших датчиків через I2C (підтримується 3,3 В і 5 В)
- Моніторинг і керування вводом/виводом віддалено в Інтернеті

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 32 |

- Індикатор живлення, світлодіоди TX і RX
- Сумісний з Arduino
- Підключення через гвинтові клеми
- Усе в професійному пластиковому корпусі з можливістю монтажу на DIN-рейку
- Робоча температура: від 0 до 70°C
- Розміри: 145 Д x 90 Ш x 40 В (мм)



Рисунок 2.5. ESP32

2.4. ATmega328P

Atmel® picoPower® ATmega328P — це малопотужний 8-розрядний мікроконтролер CMOS на основі вдосконаленої архітектури RISC AVR®. Виконуючи потужні команди за один такт, ATmega328P досягає пропускної здатності, близької до 1 MIPS на МГц. Це дає змогу розробнику системи оптимізувати пристрій для споживання електроенергії та швидкості обробки(рис.2.6).[11]

Особливість:

1. Розширена архітектура RISC

- 131 потужна інструкція
- Більшість виконання за один такт
- 32 x 8 робочих регістрів загального призначення
- Повністю статична робота
- Пропускна здатність до 20 MIPS на 20 МГц
- Вбудований двотактний множник

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 33 |

2. Енергонезалежні сегменти пам'яті високої витривалості
 - 32 Кбайт внутрішньосистемної самопрограмованої флеш-пам'яті програм
 - 1 Кбайт EEPROM
 - Кбайт внутрішньої SRAM
 - Цикли запису/стирання: 10 000 Flash/100 000 EEPROM
 - Зберігання даних: 20 років при 85°C/100 років при 25°C(1)
 - Додатковий розділ коду завантаження з незалежними бітами блокування
3. Внутрішньосистемне програмування за допомогою вбудованої програми завантаження
4. Справжня операція читання під час запису
 - Блокування програмування для безпеки програмного забезпечення

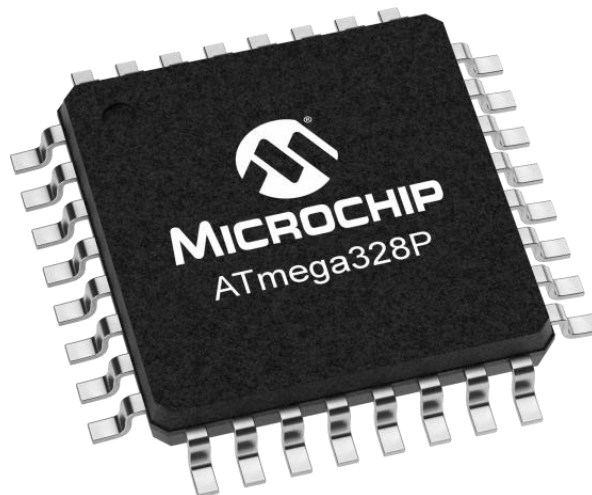


Рисунок 2.6. АТМega328Р

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.КІ(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 34 |

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ ПРОТОТИПУ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ДЛЯ БЛІНДАЖІВ

WAQEMS використовував WSN на основі частоти 868 МГц, де вузли були розподілені через жваве перехрестя в центрі Упсали. На рисунку 3.1 показано високорівневе зображення системи. Основні критерії, яким відповідала наша система, полягали в тому, що (а) вузли повинні бути портативними, (б) працювати з радіотехнологіями дальнього радіусу дії, (в) читати в реальному часі для споживання. Система складається з (1) вузла(ів) якості повітря, (2) шлюзу(ів) і (3) хмарної програми. Вузли якості повітря кожні три хвилини вимірювали та транслювали дані про забруднення разом із температурою та вологістю у вигляді пакету повідомлень. Шлюз отримав і розібрав пакет і передав пакет даних у хмарну програму через виклик REST API [12]. Потім хмарна програма перевіряє пакет повідомлень і публікує його для кількох користувачів. Далі розглянемо основні компоненти та обговоримо внутрішні та робочі елементи.

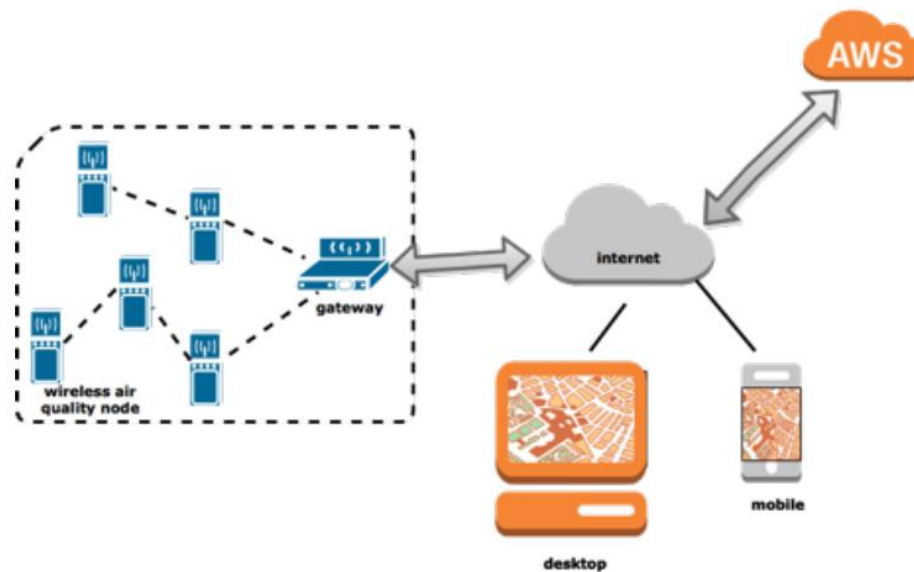


Рисунок 3.1. Налаштування WAQEMS

3.1. Опис блок схеми

Плата мікроконтролера Arduino ATmega328P є популярною платформою для проектування та створення вбудованих систем і додатків IoT. Він живиться від блоку мікроконтролера ATmega328P, який забезпечує баланс між обчислювальною потужністю та потужністю обробки, що робить його придатним

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(М)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 35 |

для багатьох завдань. Екосистема Arduino надає користувачам комплексне середовище розробки, включаючи інтегроване середовище розробки (IDE) і велику бібліотеку попередньо написаних сценаріїв, що полегшує створення робіт і методів, придатних для дослідників і любителів. Завдяки широкій підтримці та сумісності з широким спектром датчиків і приводів плата Arduino ATmega328P дозволяє дослідникам швидко створювати прототипи та повторювати свої ідеї, забезпечуючи інновації в таких сферах, як домашня автоматизація, робототехніка та моніторинг навколишнього середовища. Мікроконтролер Arduino ATmega328P служить універсальною платформою для взаємодії датчиків і обробки даних [13-15].

Його інтеграція передбачає написання коду мікропрограми для ініціалізації сенсорного модуля, отримання показань датчиків і завершення етапів попередньої обробки для аналізу даних і прийняття рішень. Використовуючи екосистему Arduino та багату підтримку бібліотек, розробники можуть пришвидшити процес розробки, роблячи код придатним для багаторазового використання та масштабованим. У багатьох областях використовуються датчики температури та вологості. Ємнісний датчик вологості та термістор для вимірювання температури поєднані в одному корпусі з цифровими функціями. Цей датчик працює, виявляючи зміни потенціалу та опору, що відповідають змінам температури, забезпечуючи точні показання в межах певного діапазону. Його простий інтерфейс і низьке енергоспоживання роблять його придатним для додатків із живленням від батареї та середовищ із обмеженими ресурсами. Вчені активно впроваджують датчики DHT11 у програми моніторингу навколишнього середовища, контролю клімату та прогнозування погоди, використовуючи свої ресурси та впевненість для збору цінних даних для аналізу та прийняття рішень.

Датчик DHT11 покращує продуктивність, вимірюючи температуру та вологість. Його інтеграція вимагає використання однопровідного інтерфейсу або цифрового зв'язку, такого як I2C, для підключення до мікроконтролера для забезпечення синхронізованої передачі даних. Удосконалені процедури

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 36 |

калібрування зменшують дрейф датчика та забезпечують довгострокову надійність у різних умовах навколишнього середовища.

Датчик CO₂ серії MQ: датчик CO₂ серії MQ — це пристрій, спеціально розроблений для визначення рівня вуглекислого газу (CO₂) у повітрі та забезпечення оптимальної якості повітря та навколишнього середовища. Датчик CO₂ MQ використовує чутливий напівпровідниковий елемент, який реагує на зміни концентрації CO₂, змінюючи свою провідність, яку можна виміряти та інтерпретувати мікроконтролером. Ці датчики особливо корисні для моніторингу повітря в приміщеннях, контролю вентиляції та моніторингу теплиць. Завдяки можливості забезпечувати миттєві та контрактні вимірювання CO₂ датчики CO₂ серії MQ дозволяють дослідникам вимірювати вплив на навколишнє середовище, оптимізувати енергоефективність і комфорт користувача в багатьох місцях, таким чином підтримуючи стабільність і працездатність комунальних служб. Датчики CO₂ серії MQ доповнюють датчики CO, надаючи більше інформації про якість повітря в приміщенні та продуктивність вентиляції. Його інтеграція передбачає налаштування протоколу зв'язку UART або I2C для полегшення з'єднання з мікроконтролером. Миттєвий аналіз вуглекислого газу дозволяє своєчасно втручатися, щоб зменшити ризики для здоров'я та підвищити енергоефективність у приміщенні(рис.3.2.).

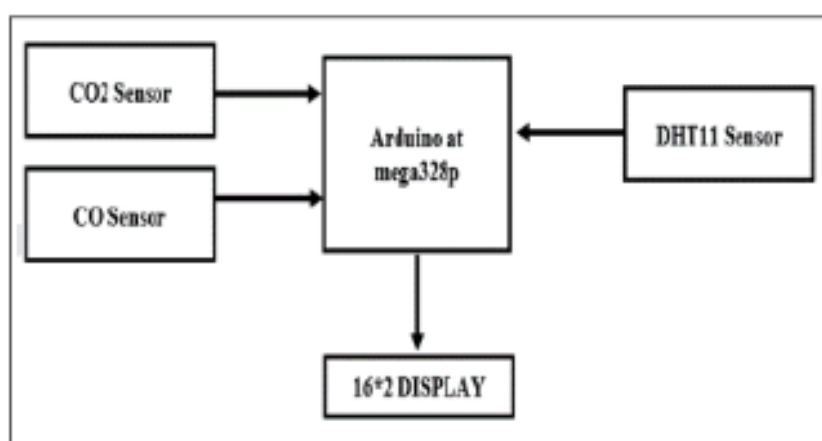


Рисунок 3.2. Блок-схема зондування та моніторингу якості повітря

3.2. Програмне забезпечення Arduino

Широко відомий як Arduino IDE (Integrated Development Environment), це відкрита програмна платформа для програмування мікроконтролерів Arduino. Це програмне забезпечення, розроблене спільнотою Arduino, пропонує користувачам простий спосіб писати, писати та надсилати код на плату Arduino. Це спрощує процес створення вбудованих проектів, дозволяючи як початківцям, так і досвідченим розробникам створювати різноманітні електронні пристрої та проекти. Arduino IDE надає просте середовище програмування та простий редактор, який дозволяє користувачам писати код за допомогою мови програмування Arduino (спрощена версія C/C++). [16]

Мова розроблена для плати Arduino і дозволяє користувачеві легко взаємодіяти з обладнанням без проходження складного процесу програмування. Крім того, IDE містить велику колекцію попередньо написаних і функціональних шаблонів (так звані бібліотеки), які спрощують процес від готового до використання коду до взаємодії з датчиками, приводами, дисплеями та іншими периферійними пристроями.

Вбудована мова C: Embedded C — це мова програмування, розроблена для програмування вбудованих систем, які є інтеграцією комп'ютерного обладнання у великі системи або продукти для виконання певних завдань. На відміну від програм загального призначення, таких як C або C++, Embedded C фокусується на ефективності використання ресурсів, продуктивності під час виконання та недорогій сумісності; Це робить його ідеальним для розробки програмного забезпечення для мікроконтролерів, мікропроцесорів та інших вбудованих пристроїв. Вбудований C успадковує багато аспектів мови програмування C, включаючи синтаксис, типи даних і структури керування. Однак він також пропонує додаткові функції та обмеження, які враховуються відповідно до конкретних вимог розробки системи. Наприклад, вбудований C часто покладається на операції з растровими зображеннями, операції з растровими зображеннями та прямий доступ до пам'яті для керування обладнанням і взаємодії з апаратними пристроями під домом.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.3. Технічне завдання на проектування

Цей метод має вирішальне значення для встановлення хорошого вимірювання якості повітря та моніторингу за допомогою MQ2 для захоплення датчиків CO, CO₂ та DHT11 для вимірювання температури та вологості. Спочатку проект вимагає гарного розуміння характеристик датчика, включаючи робочу модель, чутливість і дані зворотного зв'язку. Конфігурація апаратного забезпечення передбачає інтеграцію датчика в платформу мікроконтролера, таку як Arduino. Калібрування передбачає вплив на датчик відомої цільової концентрації газу або умов навколишнього середовища та відповідне налаштування реакції датчика. Цей крок необхідний для надійної інтерпретації даних. Збір даних відбувається безперервно, записані дані зчитуються через регулярні проміжки часу(табл.4). [17]

Таблиця 4. Технічне завдання на проектування

| № | Необхідні компоненти | Кількість |
|---|------------------------------------|-----------|
| 1 | Датчик MQ2 (CO & CO ₂) | 2 |
| 2 | РК-дисплей (16x2). | 1 |
| 3 | РСВ | 1 |
| 4 | РМС | 1 |
| 5 | Arduino uno Atmega328 | 1 |
| 6 | Датчик DHT11 | 1 |
| 7 | Регулятори напруги | 1 |
| 8 | звуковий сигнал | 1 |
| 9 | Node-mcu esp8266 | 1 |

Крім того, можливості моніторингу в реальному часі можна використовувати для надання швидкого відгуку про несприятливі погодні умови. Необроблені дані обробляються для перетворення показань у показники якості повітря, такі як температура та вологість, а також концентрації CO та CO₂ у частках на мільйон (ppm). Статистичний аналіз можна використовувати для виявлення тенденцій, закономірностей і невідповідностей у даних. Крім того, інтеграція проекту з платформою Інтернету речей (IoT) забезпечує віддалений

доступ до даних у режимі реального часу та полегшує автоматичні сповіщення або сповіщення про звіти порівняно з попередньою процедурою. системи з часом. Виконуйте регулярні перевірки датчиків, оновлення калібрування та процедури технічного обслуговування обладнання, щоб запобігти дрейфу або погіршенню якості датчика. Розуміння, калібрування, інтеграція апаратного забезпечення, збір даних, обробка, аналіз, візуалізація та обслуговування. Такий підхід забезпечує ефективність і надійність моніторингу при аналізі та вирішенні проблем якості повітря(рис.3.3.).

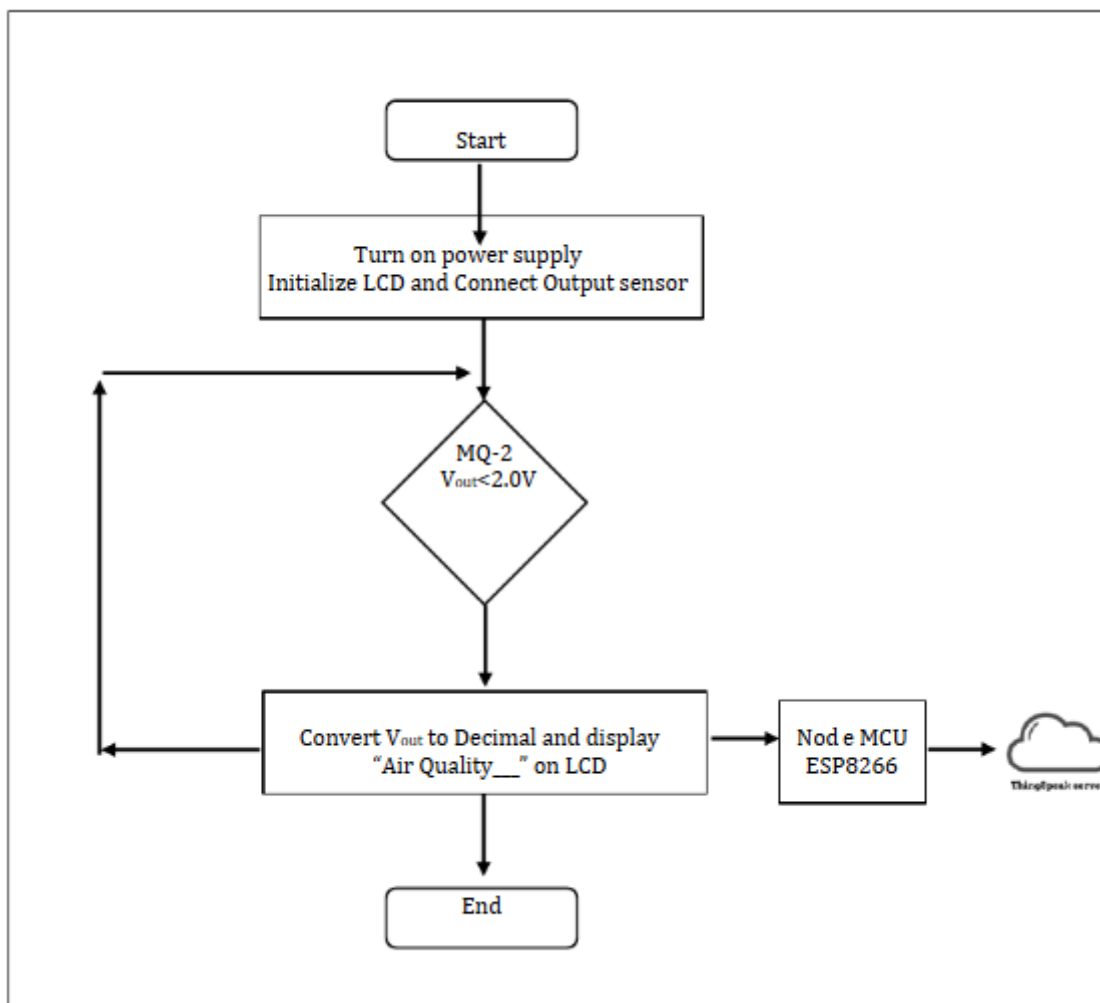


Рисунок 3.3. Блок-схема запропонованої системи

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ МОНІТОРИНГУ ПОВІТРЯ

4.1. Результати та обговорення моніторингу якості повітря

Результати інтеграції датчиків CO₂ MQ 2, зумерів, датчиків DHT11 і датчиків CO₂ серії MQ у проекти моніторингу якості повітря дають огляд шкідливих газів і сприйняття навколишнього середовища. Датчик CO MQ 2 ефективно миттєво виявляє чадний газ і показує різницю в навколишньому середовищі. У районах інтенсивного руху та промисловості концентрація вуглекислого газу особливо висока, тому джерела забруднення ідентифікуються. Зумер у системі забезпечує звуковий сигнал, який лунає, коли рівень вуглекислого газу перевищує заданий поріг. [18-20] Тепер ця пропозиція підвищує обізнаність громадськості та заохочує заходи щодо зменшення забруднення повітря. Інтеграція різних датчиків і мікроконтролерів у ці системи забезпечує комплексний підхід до збору та аналізу даних, що допомагає приймати ефективні рішення щодо управління якістю повітря. У цьому розділі ми розглядаємо результати, отримані від систем вимірювання та моніторингу якості повітря, і обговорюємо їх ефективність у визначенні різних забруднювачів і забруднювачів навколишнього середовища з точки зору їх ефективності та впливу. Основною метою нашого дослідження є покращення здатності вимірювати та контролювати параметри якості повітря, включаючи оксид вуглецю (CO), вуглекислий газ (CO₂), температуру та вологість. Завдяки інтеграції датчиків серії MQ-2, MQ CO₂ і DHT11 з мікроконтролером Arduino ATmega328P, контролером ESP32, РК-дисплеєм 16x2 і зумером ми забезпечуємо моніторинг якості повітря в приміщенні в реальному часі. Система добре виявляє забруднюючі речовини, добре захищаючи довкілля в приміщенні. Чадний газ – це безбарвний газ без запаху, особливо небезпечний у високих концентраціях і завдає серйозної шкоди тим, хто піддається впливу. Підключивши датчики CO₂ серії MQ-2 і MQ, наша система може вимірювати рівень CO та попереджати користувачів про небезпечні ситуації. Крім того, додавання датчиків температури та вологості підвищує функціональність системи, дозволяючи комплексно оцінювати внутрішній стан (рис.4.1.- 4.5.).

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 41 |

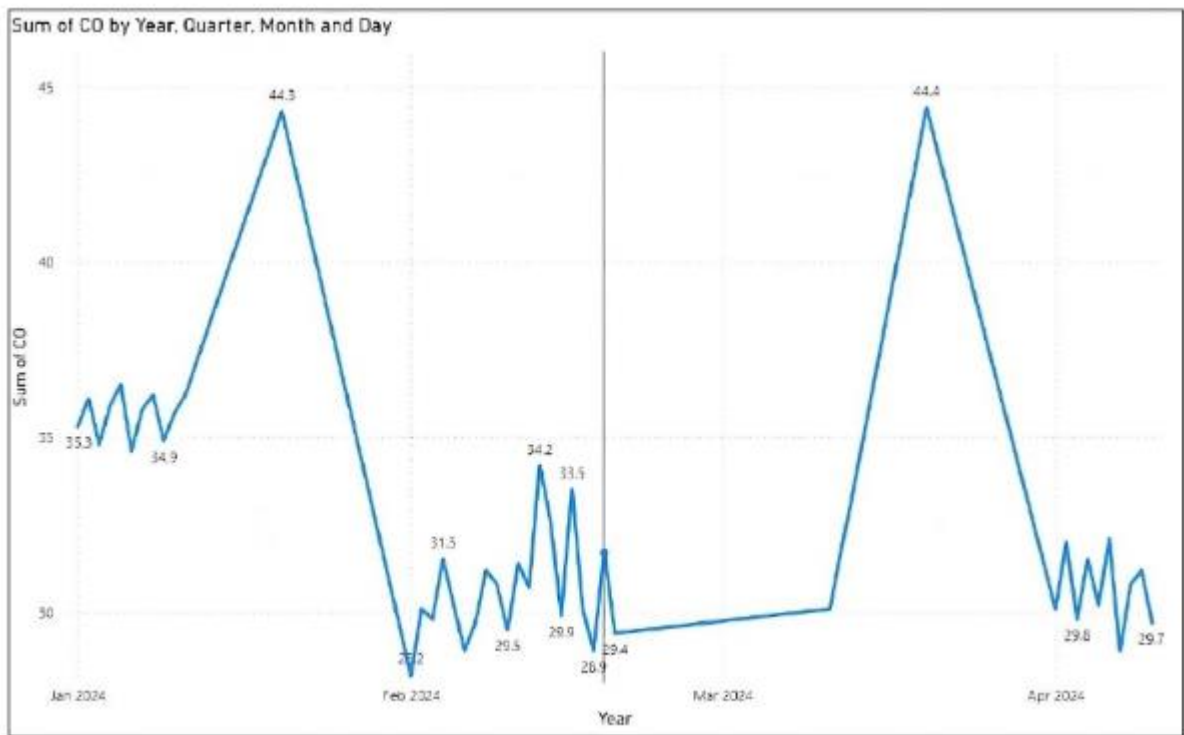


Рисунок 4.1. Річний місячний діапазон CO

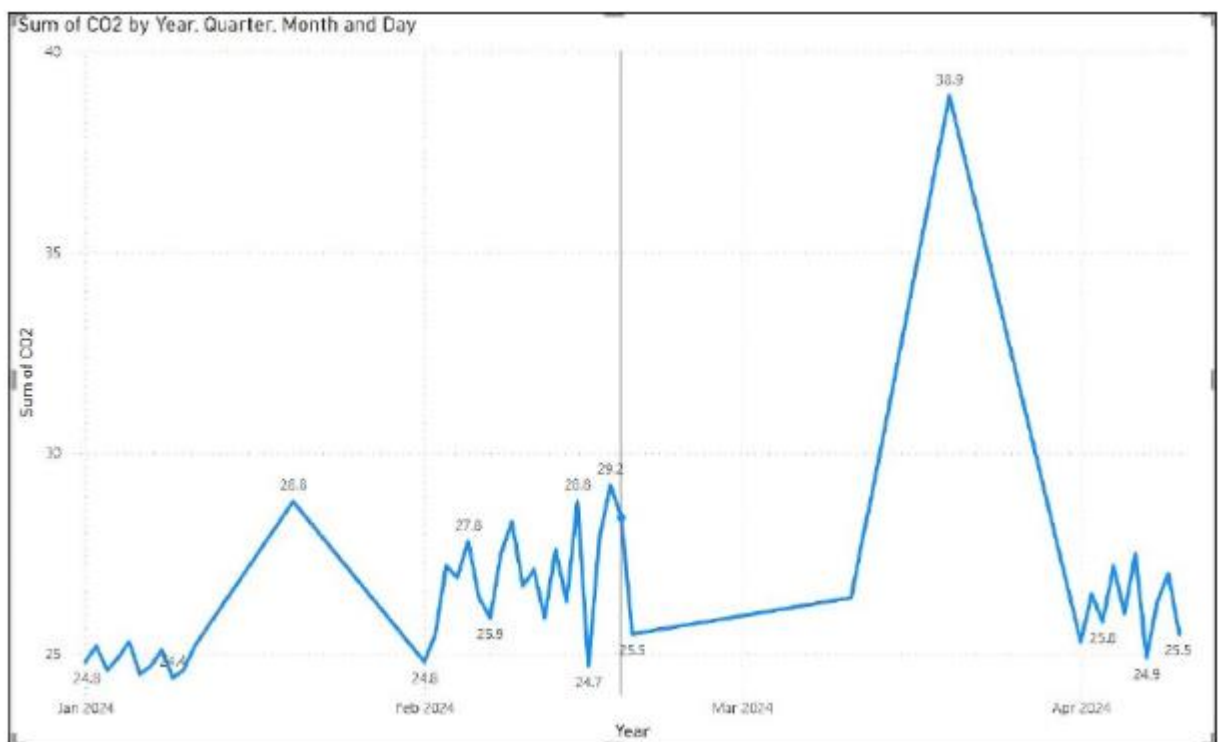


Рисунок 4.2 Річний місячний діапазон CO₂

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

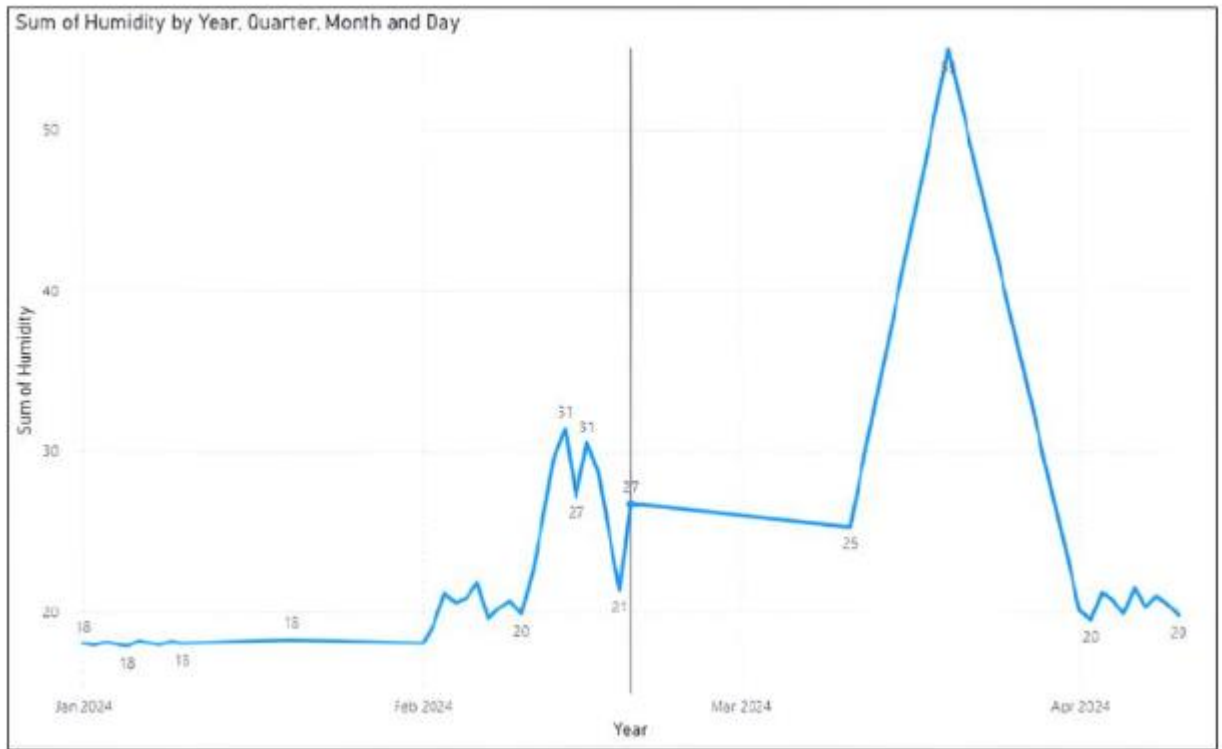


Рисунок 4.3. Річний місячний діапазон вологості

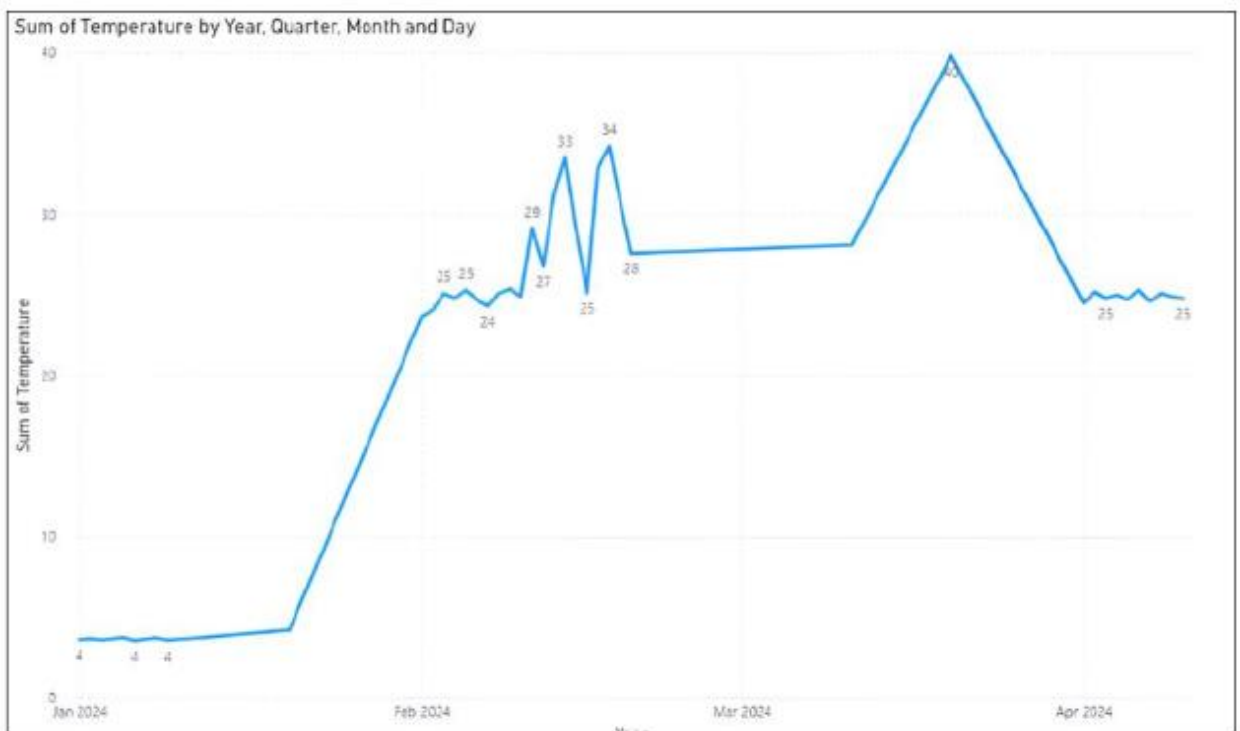


Рисунок 4.4. Річний місячний діапазон температури

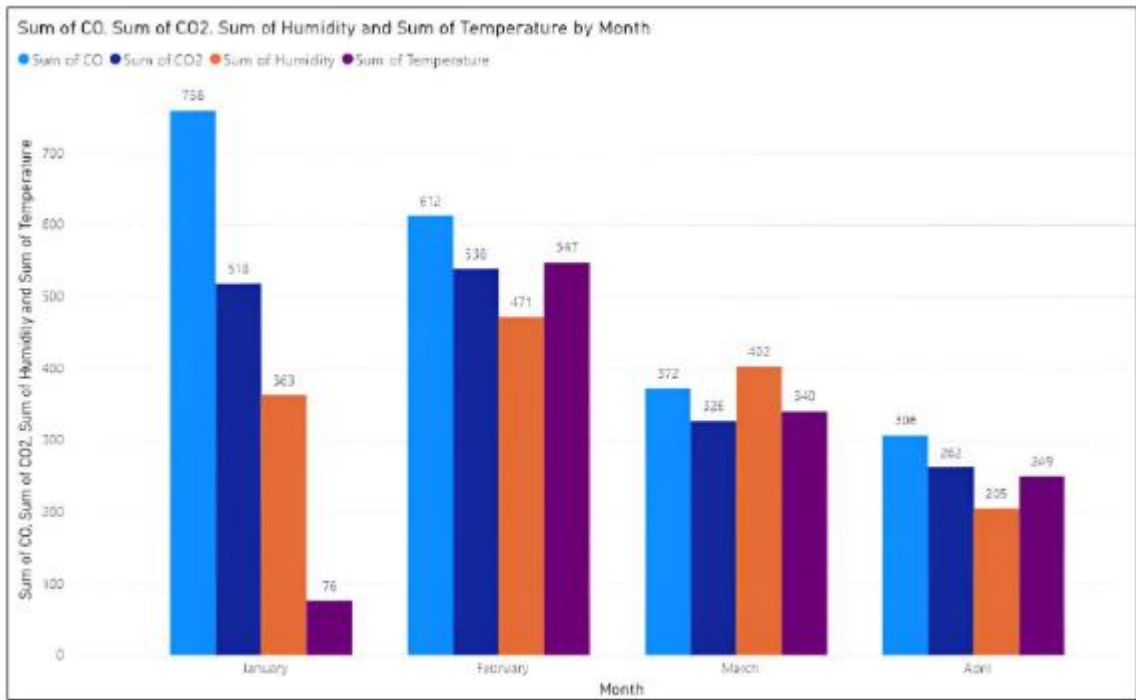


Рисунок 4.5. Сума CO, CO₂, вологість, температура

Відображення даних у реальному часі на РК-екрані дає користувачам простий спосіб контролювати рівень якості повітря. Чіткі та зрозумілі інструкції забезпечують доступ до важливої інформації, дозволяючи своєчасно втручатися для покращення якості повітря в приміщенні. Крім того, інтеграція голосового попередження підвищує безпеку користувача, збільшуючи час попередження за поганих погодних умов. У ситуаціях, що вимагають негайної дії, наприклад тиск CO₂, зумер може служити важливим механізмом попередження, що дозволяє людям вжити необхідних заходів для зменшення ризику. Його потужна та ефективна потужність робить його ідеальним для використання в багатьох областях, включаючи житлові, комерційні та промислові райони. На відміну від традиційних моніторів якості повітря, які часто стаціонарні та дорогі в установці, наші системи пропонують просте та доступне рішення для постійного моніторингу якості повітря в бліндажі [21].

Дизайн і бездротове підключення, що використовуються контролером ESP32, можуть бути інтегровані в існуючі системи та доступні для багатьох користувачів. з дистанційним керуванням. Дані аналізуються та друкуються на

каналі у вигляді розкомпонованих графіків або графіків. Погодні умови, що відповідають цим каналам(рис.4.6-4.9.).

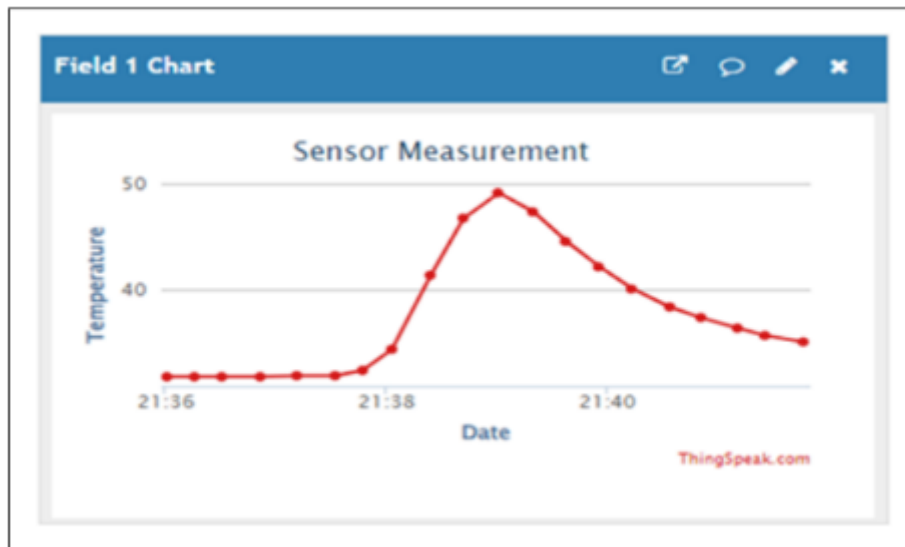


Рисунок 4.6. Вимірювання якості повітря в онлайн-режимі температури



Рисунок 4.7. Вимірювання якості повітря в режимі вологості онлайн



Рисунок 4.8. Вимірювання якості повітря в режимі онлайн для CO₂



Рисунок 4.9. Вимірювання якості повітря в онлайн-режимі CO

4.2. Прототип пристрою моніторингу якості повітря

Потенційні сфери застосування систем вимірювання та моніторингу якості повітря різноманітні та далекосяжні. Система може допомогти домовласникам підтримувати здорове навколишнє середовище, відстежуючи забруднення в житлових приміщеннях і відповідно регулюючи вентиляцію, а також у використанні бліндажів для військових. У бізнесі та промисловості це може підвищити безпеку та продуктивність на робочому місці шляхом визначення та зменшення забруднення повітря в приміщенні. Крім того, дані, зібрані системою, можуть надати політикам і екологічним організаціям кращу інформацію про розробку розширених стратегій захисту клімату та управління.

Система складається з таких компонентів, як датчик MQ, датчик DHT11, контролер ESP32, РК-екран, зумер і мікроконтролер Arduino ATmega328P. Здатність організму виявляти багато типів забруднюючих речовин і забруднень навколишнього середовища робить його корисним для вимірювання якості повітря в приміщенні та підтримки здорового середовища. Майбутня робота включатиме інтеграцію з хмарними платформами для віддаленого моніторингу та аналізу даних, а також оптимізацію для конкретних програм. Загалом дослідження сприяє вдосконаленню технології моніторингу якості повітря та, як очікується, допоможе вирішити екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням повітря.

Тепер дані дають змогу краще зрозуміти забруднювачі повітря та навколишнє середовище та допомагають приймати обґрунтовані рішення щодо управління якістю повітря. Органи влади можуть використовувати цю інформацію для виявлення гарячих точок забруднення, реалізації планів реагування та розробки політики щодо покращення якості повітря. Повний збір і аналіз даних. Розумна система забезпечує оптимальну якість повітря в приміщенні, виявляючи різні забруднювачі, такі як CO, CO₂, температуру та вологість. Відображення даних у реальному часі на РК-екрані дозволяє користувачам легко контролювати якість повітря.

Крім того, зумер підвищує безпеку користувача, надаючи своєчасне попередження про критичні погодні умови. Загалом, запропонована система забезпечує рентабельне, економічно ефективне рішення для додатків моніторингу якості повітря, пропонуючи потенціал для розгортання в різних регіонах, галузях та галузях(рис.4.10). [22-23]

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 47 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

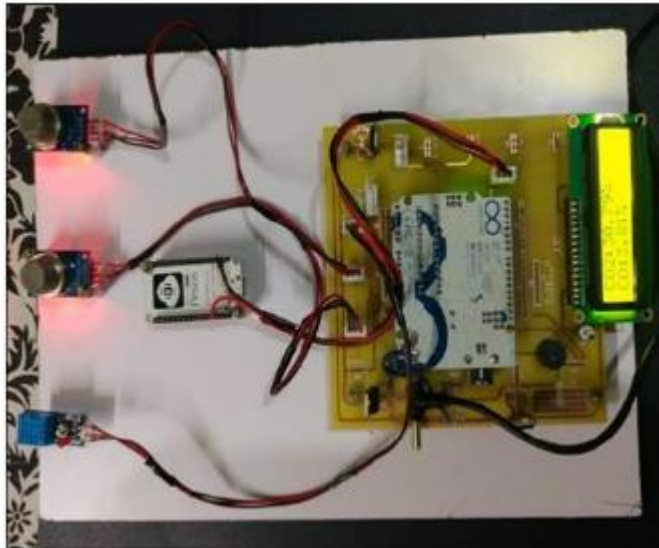


Рисунок 4.10 Прототип нашого проекту

Інтеграція різних продуктів і процесів є основою належного догляду за навколишнім середовищем. Використовуючи різноманітні унікальні можливості, науковці та експерти можуть створювати ефективні рішення для зменшення шкоди навколишньому середовищу, захисту здоров'я населення та підвищення безпеки в багатьох сферах [24-26]. Спеціалізована мова програмування для розробки програмного забезпечення для вбудованих систем. Його орієнтація на ефективність використання ресурсів, швидку обробку та низьку вартість взаємодії робить його обов'язковим для розробників, які розробляють різноманітні програми, включаючи автомобільні системи, електроніку, автоматизацію бізнесу та пристрої IoT. Освоївши вбудоване програмування на C, розробники можуть розкрити весь потенціал вбудованих систем і створювати потужні, надійні та високопродуктивні рішення.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1. Розрахунок економічної ефективності розробленого пристрою

Ось порівняння дешевших та дорожчих варіантів компонентів для системи моніторингу якості повітря на основі ESP32, MQ-2 та інших компонентів, які використовуються в цьому проєкті.

1. Контролер ESP32

➤ Дешевий варіант: \$3-5

- Базові плати ESP32 без додаткових елементів, наприклад, без LiPo зарядки чи додаткових модулів.
- Можливі проблеми з якістю пайки, обмежені гарантії.
- Придбати можна на AliExpress, eBay.

➤ Дорожчий варіант: \$10-15

- Модифіковані плати ESP32, наприклад, з додатковими роз'ємами, акумуляторними портами, вбудованим дисплеєм або іншими покращеннями.
- Більш стабільна робота, кращий захист від перегріву.
- Придбати можна на Amazon, Adafruit, SparkFun.

2. Датчик MQ-2

➤ Дешевий варіант: \$1-2

- Стандартні модулі MQ-2 без додаткових функцій (без калібрування).
- Може бути менш точним і чутливим.
- Придбати можна на AliExpress або eBay.

➤ Дорожчий варіант: \$5-8

- Якісніші датчики, попередньо відкалібровані, що забезпечують кращу стабільність і точність.
- Придбати можна на SparkFun, Adafruit.

3. РК-дисплей 16x2 з I2C

➤ Дешевий варіант: \$2-3

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 49 |

- Звичайні LCD-дисплеї без підсвічування або з менш яскравим підсвічуванням.
 - Менш чітке відображення, дешевші матеріали корпусу.
 - Придбати можна на AliExpress, Banggood.
- Дорожчий варіант: \$5-10
- Більш надійні моделі з чітким зображенням і яскравим підсвічуванням.
 - Часто постачаються з додатковим захистом (корпусом).
 - Придбати можна на Amazon, Adafruit.
4. Додаткові компоненти (проводка, монтажна плата)
- Дешевий варіант: \$1-2
- Набір звичайних проводів і монтажних плат, які можна знайти на AliExpress або в дешевих наборах.
 - Менш надійні з'єднання, швидше зношуються.
- Дорожчий варіант: \$5-8
- Комплекти з якісною ізоляцією і захистом.
 - Придбати можна на SparkFun, Amazon.

Загальна вартість елементів наведена у таблиці 5.

Таблиця 5 Загальна вартість компонентів

| Комплект | Дешевий варіант | Дорожчий варіант |
|-----------------------|-----------------|------------------|
| Контролер ESP32 | \$3 - \$5 | \$10 - \$15 |
| Датчик MQ-2 | \$1 - \$2 | \$5 - \$8 |
| ПК-дисплей 16x2 з I2C | \$2 - \$3 | \$5 - \$10 |
| Додаткові компоненти | \$1 - \$2 | \$5 - \$8 |
| Загальна вартість | \$7 - \$12 | \$25 - \$41 |

Висновок

- **Дешевий варіант** (\$7 - \$12): підходить для базових прототипів та особистих проєктів. Однак може бути менш надійним, і деякі компоненти можуть швидко зношуватися.

- **Дорожчий варіант** (\$25 - \$41): забезпечить кращу стабільність і точність, що особливо важливо для систем моніторингу якості повітря, які працюють у критичних умовах, таких як бліндажі чи закриті приміщення з обмеженим доступом до свіжого повітря.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.КІ(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

ВИСНОВКИ

Система бездротового моніторингу якості повітря для бліндажів є важливим рішенням для забезпечення безпеки військових в умовах обмеженої вентиляції. Ключовим параметром, який відстежується системою, є якість повітря, а саме рівень забруднення такими речовинами, як чадний газ (CO) та інші потенційно шкідливі гази. Забруднювачі повітря в закритих приміщеннях, особливо за наявності обмеженого обміну свіжим повітрям, можуть швидко досягати критичних рівнів, що створює загрозу для здоров'я людей.

Для визначення безпечності повітря система використовує індекс якості повітря, який обчислюється на основі даних сенсорів і вказує на загальну придатність повітря для дихання. Основу системи складає бездротова сенсорна мережа, що базується на датчику CO MQ-2, здатному виявляти різні гази і забезпечувати моніторинг забруднень в режимі реального часу. Важливу роль у системі відіграють контролери ESP32 або ATmega328P, які обробляють дані сенсорів і відправляють їх на РК-дисплей для зручного візуального контролю.

Функціональні блоки системи включають:

1. Блок збору даних – датчик CO MQ-2, який відслідковує рівень CO та інших газів у повітрі.
2. Блок обробки даних – мікроконтролери ESP32 або ATmega328P, які відповідають за обробку сигналів від датчика.
3. Блок відображення результатів – РК-дисплей, на якому відображається поточний індекс якості повітря, а також інші показники.
4. Блок передачі даних – бездротовий модуль, що забезпечує передачу інформації до віддаленого пристрою для оперативного реагування.

Програмне забезпечення на основі платформи Arduino дозволяє налаштувати параметри роботи сенсорів та керувати процесом обробки й передачі даних. Розробка починається з підготовки технічного завдання, яке включає вимоги до чутливості сенсорів, точності даних, стабільності зв'язку та енергоефективності.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 52 |

Опис блок-схеми допомагає чітко визначити роботу кожного компонента системи та їх взаємодію, що значно спрощує процес налаштування й обслуговування пристрою.

Після розробки прототипу проведено ряд випробувань, які підтвердили здатність системи ефективно виконувати моніторинг якості повітря. Результати показали високу надійність і точність відображення даних, а також швидкість реагування на зміни у складі повітря. Обговорення результатів дозволяє оцінити можливі поліпшення, що стосуються точності вимірювань, оптимізації програмного забезпечення й зменшення енергоспоживання.

Ця система має потенціал стати невід'ємною частиною захисних технологій у бліндажах, забезпечуючи своєчасне попередження про небезпечні рівні забруднення повітря. Вона допоможе знизити ризик інтоксикації військових та підвищити загальний рівень безпеки в умовах обмеженого доступу до чистого повітря.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТИ

1. U. S. E. P. AGENCY, National Ambient Air Quality Standards (NAAQS).
2. X. HAN AND L. P. NAEHER, A review of traffic-related air pollution exposure assessment studies in the developing world, *Environment international*, 32 (2006), pp. 106–120.
3. C. A. POPE III, R. T. BURNETT, M. J. THUN, E. E. CALLE, D. KREWSKI, K. ITO, AND G. D. THURSTON, Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, *Jama*, 287 (2002), pp. 1132–1141.
4. EPA OFFICE OF AIR QUALITY PLANNING AND STANDARDS, Guideline for reporting of daily air quality, air quality index (AQI), Research Triangle Park, NC 27711, 1999. Guideline for reporting of daily air quality, air quality index (AQI). EPA-454/R-99-010.
5. <https://www.hnfosensor.com/types-of-air-quality-sensors.html>
6. <https://www.eurofiber.com/nl-nl/lifeline/digitale-transformatie/wat-lora-nu-eigenlijk>
7. <https://www.ithinx.io/en/blog/connected-devices/what-is-zigbee-what-advantages-does-it-offer/#:~:text=Ideal%20energy%20efficiency,for%20years%20without%20changing%20batteries>.
8. J. Lin, A. Zhang, W. Chen, and M. Lin, Estimates of daily PM_{2.5} exposure in beijing using spatio-temporal kriging model,” *Sustainability*, vol. 10, no. 8, p. 2772, 2018.
9. Y. Jiang, L. Shang, K. Li, L. Tian, R. Piedrahita, X. Yun, O. Mansata, Q. Lv, R. P. Dick, and M. Hannigan, MAQS: A personalized mobile sensing system for indoor air quality monitoring,” in *Proc. 13th Int. Conf. Ubiquitous Comput. UbiComp*, 2011, pp. 271–280.
10. D. Zhang and S. S. Woo, Predicting air quality using moving sensors (poster),” in *Proc. 17th Annu. Int. Conf. Mobile Syst., Appl., Services*, Jun. 2019, pp. 604–605.
11. Y. Zheng, X. Yi, M. Li, R. Li, Z. Shan, E. Chang, and T. Li, Forecasting fine-grained air quality based on big data,” in *Proc. 21th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining KDD*, 2015, pp. 2267–2276.
12. M. MASSE, REST API design rulebook, " O'Reilly Media, Inc.", 2011.

| | | | | | | |
|------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|-------------|
| | | | | | 123.KI(M)-21.17 | <i>Арк.</i> |
| <i>Зм.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | 54 |

13. S. Devarakonda, P. Sevusu, H. Liu, R. Liu, L. Iftode, and B. Nath, Realtime air quality monitoring through mobile sensing in metropolitan areas,”in Proc. 2nd ACM SIGKDD Int. Workshop Urban Comput. UrbComp, 2013, p. 15.
14. Y.-C. Hsu, P. Dille, J. Cross, B. Dias, R. Sargent, and I. Nourbakhsh, Community-empowered air quality monitoring system,” in Proc. CHI Conf. Hum. Factors Comput. Syst., May 2017, pp. 1607–1619.
15. D. Hasenfratz, O. Saukh, C. Walser, C. Hueglin, M. Fierz, T. Arn, J. Beutel, and L. Thiele, Deriving high-resolution urban air pollution maps using mobile sensor nodes,” Pervas. Mobile Comput., vol. 16, pp. 268–285, Jan. 2015.
16. A. C. Rai, P. Kumar, F. Pilla, A. N. Skouloudis, S. Di Sabatino, C. Ratti, A. Yasar, and D. Rickerby, End-user perspective of low-cost sensors for outdoor air pollution monitoring,” Sci. Total Environ., vols. 607–608, pp. 691–705, Dec. 2017.
17. S. R. Garzon, S. Walther, S. Pang, B. Deva, and A. Küpper, Urban air pollution alert service for smart cities,” in Proc. 8th Int. Conf. Internet Things, Oct. 2018, p. 8.
18. B. Maag, Z. Zhou, and L. Thiele, W-Air: Enabling personal air pollution monitoring on wearables,” Proc. ACM Interact., Mobile, Wearable Ubiquitous Technol., vol. 2, no. 1, p. 24, 2018.
19. R. Zhao, X. Gu, B. Xue, J. Zhang, and W. Ren, Short period PM2.5 prediction based on multivariate linear regression model,” PLoS ONE, vol. 13, no. 7, 2018, Art. no. e0201011.
20. J. Ahn, D. Shin, K. Kim, and J. Yang, Indoor air quality analysis using deep learning with sensor data,” Sensors, vol. 17, no. 11, p. 2476, 2017.
21. X. Yi, J. Zhang, Z. Wang, T. Li, and Y. Zheng, Deep distributed fusion network for air quality prediction,” in Proc. 24th ACM SIGKDD Int. Conf. Knowl. Discovery Data Mining, Jul. 2018, pp. 965–973.
22. K. P. Moustris, P. T. Nastos, I. K. Larissi, and A. G. Paliatsos, Application of multiple linear regression models and artificial neural networks on the surface ozone forecast in the greater athens area,.,
23. Cordeiro, C. and Agrawal, D.P. *Ad hoc & Sensor Networks: Theory and Applications*. World Scientific Publishing, (2006) ISBN No. 81-256-681-3.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(M)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 55 |

24. Seders, V., Shea, V, Lemmon, M.D., Maurice, P.A. and Talley, J.W. LakeNet: an integrated sensor network for environmental sensing in lakes. *Environmental Engineering Science* 24, 2, (2007), 183– 191.

25. Серода М. О., Пузирьов С. В. Побудова сенсорної IoT-мережі для моніторингу якості повітря. Інформаційні технології та інженерія: тези доп. Всеукр. наук.- конф. Миколаїв, 07-10 лютого 2023р.: Чорном. Нац. ун-т ім. Петра Могили, 2023. С. 88-90.

26. Яковенко В.В. Система збору, збереження та відображення інформації про навколишнє середовище/ Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»/кер. доц. к.ф.м. наук_Заворотний В.Ф. Виконавець: Яковенко В.В: Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 65с. (дата звернення: 10.02.2023)

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.КІ(М)-21.17 | Арк. |
| | | | | | | 56 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |


```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <WiFi.h>

// Налаштування Wi-Fi
const char* ssid = "Ваше_SSID";
const char* password = "Ваш_пароль";

// Налаштування веб-сервера
WiFiServer server(80);

// Налаштування дисплея I2C
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Адреса дисплея може змінюватися

// Піни підключення MQ-2
const int mq2Pin = 34; // Вхідний аналоговий пін ESP32 для датчика MQ-2

// Функція для підрахунку індексу якості повітря
int calculateAQI(float voltage) {
    int aqi;
    if (voltage < 0.5) {
        aqi = 50; // Низький рівень забруднення
    } else if (voltage < 1.5) {
        aqi = 100; // Помірний рівень
    } else if (voltage < 2.5) {
        aqi = 150; // Високий рівень забруднення
    } else {
        aqi = 200; // Дуже високий рівень забруднення
    }
}
```

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.КІ(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 57 |

```

    return aqi;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);

    // Налаштування дисплея
    lcd.init();
    lcd.backlight();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Air Quality:");

    // Підключення до Wi-Fi
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
    Serial.println("IP address: ");
    Serial.println(WiFi.localIP());
    server.begin();
}

void loop() {
    // Зчитування даних з датчика
    int sensorValue = analogRead(mq2Pin);
    float voltage = sensorValue * (3.3 / 4095.0); // Перетворення вольтажу для ESP32
    int aqi = calculateAQI(voltage);
}

```

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.КІ(М)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 58 |

```

// Виведення даних на дисплей
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("AQI: ");
lcd.print(aqi);

// Виведення даних в консоль для перевірки
Serial.print("MQ-2 Voltage: ");
Serial.print(voltage);
Serial.print("V, AQI: ");
Serial.println(aqi);

// Чекає підключення клієнта
WiFiClient client = server.available();
if (client) {
    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-type:text/html");
    client.println();
    client.print("Air Quality Index: ");
    client.print(aqi);
    client.println();
    client.stop();
}

delay(2000); // Оновлення кожні 2 секунди
}

```

Опис коду:

1. **Підключення до Wi-Fi:** Встановлює з'єднання з мережею Wi-Fi для доступу до веб-сервера.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 59 |

2. **Зчитування даних з датчика:** Датчик MQ-2 зчитує рівень чадного газу (CO) і перетворює аналогові дані у відповідний вольтаж.
3. **Розрахунок AQI:** Функція calculateAQI() визначає індекс якості повітря на основі вхідної напруги, яка відповідає рівню забруднення.
4. **Відображення на РК-дисплеї:** Виводиться індекс якості повітря.
5. **Веб-сервер:** Надає індекс якості повітря на локальній веб-сторінці для перегляду через будь-який пристрій у локальній мережі.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|-----------------|------|
| | | | | | 123.KI(м)-21.17 | Арк. |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 60 |