

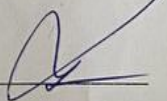
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:
«МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ДЕТЕКТОР ГАЗУ З ОПОВІЩЕННЯМ В
МЕСЕНДЖЕР»

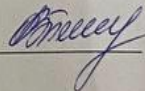
Виконав: студент 4 курсу, групи ІСП—216
спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»
освітня програма — «Системне програмування»

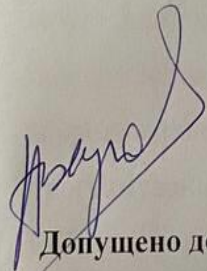
Чуприна С.В. 

Керівник: к.т.н., доц. каф. ОТ

Тарновський М.Г. 

Рецензент:

Романюк Оксана Володимирівна 

 Допущено до захисту

Завідувач кафедри ОТ

д.т.н., проф. Азаров О. Д.

«16» червня 2025 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет Інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра Обчислювальної техніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань 12 — Інформаційні технології
Спеціальність 123 — «Комп'ютерна інженерія»
Освітня програма «Системне програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ
д.т.н., проф. Азаров О. Д
«21» березня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Чуприні Самуїлу Віталійовичу

1 Тема роботи: «Мікропроцесорний детектор газу з оповіщенням в месенджер», керівник роботи к.т.н., доц. Тарновський М. Г, затверджені наказом ВНТУ від «20» березня 2025 року №97.

2 Термін подання студентом роботи 13.05.2025

3 Вихідні дані до роботи: призначення — виявлення витoku природного газу; зовнішній інтерфейс — Wi-Fi; сповіщення — звукова сигнал, повідомлення у месенджер; технічна документація з сенсорів газу, мікроконтролера ESP8266; середовище розробки — Arduino IDE; мова програмування C++; бібліотеки Arduino для роботи з Wi-Fi-з'єднанням; API мобільних месенджерів.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки: вступ, аналіз предметної області, аналіз аналогів, аналіз методів та засобів виявлення горючих газів у повітрі, розробка електричної схеми мікропроцесорного детектора газу, розробка програмного забезпечення, висновки.

5 Перелік графічного матеріалу: структурна схема, схема електрична функціональна та макет прикладу.

6 Консультанти розділів роботи приведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к.т.н., доц. каф. ОТ Тарновський М.Г.	21.03.2025	13.05.2025
Нормоконтроль	ас. Каф. ОТ Швець С.П.	14.05.25	30.05.25

7 Дата видачі завдання « 21 » березня 2025 р.

8 Календарний план виконання БКР приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання комплексної бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка задачі роботи	21.03.25	виконано
2	Пошук матеріалів та інформаційних джерел	21.03.25— 30.03.25	виконано
3	Аналіз існуючих прототипів та визначення вимог до створюваної системи	21.03.25— 30.03.25	виконано
4	Обґрунтування структури та принципів роботи системи	31.03.25— 13.04.25	виконано
5	Розробка й тестування апаратно-програмної системи	14.04.25— 27.04.25	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу	28.04.25— 11.05.25	виконано
7	Перевірка якості виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи та усунення недоліків	13.05.25	виконано

Студент

(підпис)

Чуприна С.В.

Керівник роботи

(підпис)

Тарновський М. Г.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.3

Чуприна С.В. Мікропроцесорний детектор газу з оповіщенням в месенджер. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», освітня програма «Системне програмування». Вінниця: ВНТУ, 2025. 70 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 20 назв; рис.: 32; табл. 10.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено мікропроцесорний детектор газу з функцією надсилання сповіщень у месенджер Telegram. Такий пристрій дозволяє оперативно виявляти потенційно небезпечні концентрації газу та негайно інформувати користувача. У першому розділі роботи проведено аналіз технічного завдання, визначено основні вимоги до пристрою, розглянуто класифікацію існуючих засобів виявлення витoku газу, а також здійснено порівняльний аналіз аналогічних систем. У проєктній частині проведено аналіз типів газових сенсорів і їх основних характеристик. Окрему увагу приділено напівпровідниковим сенсорам, зокрема серії MQ, які застосовуються для виявлення горючих газів. Наведено порівняльний огляд моделей, проаналізовано їхню чутливість та особливості роботи, що стало підґрунтям для подальшого вибору компонентів системи. Третій розділ присвячено розробці електричної та структурної схем детектора газу, вибору елементної бази, створенню програмної частини в середовищі Arduino IDE, а також реалізації Telegram-бота для дистанційного інформування користувача про виявлення газу. Робота завершується перевіркою працездатності системи.

Графічна частина складається з електричної та структурної схеми датчика газу, а ілюстративна із макету приладу.

Ключові слова: мікропроцесорний пристрій, детектор газу, список бібліотек та функція оповіщення.

ABSTRACT

Chupryna S.V. Microprocessor-based gas detector with messenger notification. Bachelor's qualification work in specialty 123 «Computer Engineering», educational program «System Programming». Vinnytsia: VNTU, 2025. 70 c.

In Ukrainian. Bibliography: 20 titles; Figures: 32; Table 10.

In the bachelor's thesis, a microprocessor-based gas detector with the function of sending notifications to the Telegram messenger was developed. Such a device allows to quickly detect potentially hazardous gas concentrations and immediately inform the user. In the first section of the paper, we analyze the technical assignment, define the basic requirements for the device, consider the classification of existing gas leak detection devices, and perform a comparative analysis of similar systems. The design part analyzes the types of gas sensors and their main characteristics. Particular attention is paid to semiconductor sensors, in particular the MQ series, which are used to detect combustible gases. A comparative overview of models is provided, their sensitivity and operating features are analyzed, which became the basis for further selection of system components. The third chapter is devoted to the development of the electrical and structural diagrams of the gas sensor, the selection of the element base, the creation of the software part in the Arduino IDE environment, and the implementation of Telegram bot for remote notification of the user about gas detection. The work is completed by checking the system's performance.

The graphic part consists of an electrical and structural diagram of the gas sensor, and the illustrative part contains a model of the device.

Keywords: microprocessor device, gas detector, list of libraries and alert function.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	5
1.1 Аналіз вимог до мікропроцесорного детектора газу	5
1.2 Огляд та класифікація засобів для виявлення витоку газу	6
1.3 Вибір та аналіз аналогів	10
2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ У ПОВІТРІ	17
2.1 Типи та характеристики газових сенсорів	17
2.2 Характеристики напівпровідникових газових сенсорів MQ	21
3 РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ДЕКТРА ГАЗУ З ОПОВІЩЕННЯМ У МЕСЕНДЖЕР	31
3.1 Розробка структурної схеми датчика газу	31
3.2 Вибір елементної бази	32
3.3 Розробка електричної схеми детектора газу	44
3.4 Створення програмної частини детектора газу у середовищі Arduino Ide	50
3.5 Розробка Telegram-бота	67
ВИСНОВКИ	70
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТОК А Технічне завдання	74
ДОДАТОК Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	78
ДОДАТОК В Графічна частина	79
ДОДАТОК Г Ілюстративна частина	81
ДОДАТОК Д Лістинг програмного забезпечення	83

ВСТУП

Актуальність теми бакалаврської роботи обумовлена необхідністю забезпечення безпеки людини у повсякденному житті стає дедалі важливішим, особливо коли мова йде про використання газу в побАуті або на виробничих об'єктах. Несвоєчасне виявлення витoku може призвести до серйозних аварій, включаючи вибухи, пожежі й загрозу життю людей. У зв'язку з цим розробка систем раннього виявлення небезпечних концентрацій газу стає не просто доцільною, а необхідною. Інтеграція мікропроцесорних засобів із сучасними цифровими сервісами, зокрема месенджерами, відкриває перспективи для створення доступних, оперативних і ефективних засобів попередження надзвичайних ситуацій у режимі реального часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав що в останні роки активно розвиваються вбудовані системи на базі платформ Arduino, ESP8266, ESP32 та подібних. У численних наукових і технічних джерелах висвітлюються питання створення сенсорних систем контролю довкілля, вдосконалення алгоритмів аналізу даних від сенсорів, а також програмних підходів до передачі інформації на відстані. При цьому напрям інтеграції таких пристроїв із сервісами миттєвих повідомлень, зокрема Telegram, залишається порівняно новим і недостатньо опрацьованим.

Мета роботи полягає у розширенні функціональних можливостей засобу для фіксації наявності горючих газів у повітрі. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі **задачі**:

- аналіз існуючих технологій виявлення витoku газу;
- розробка електричної схеми мікропроцесорного детектору газу;
- розробка програмного забезпечення мікропроцесорного детектору газу з використанням Arduino IDE;
- створення Telegram-бота та його інтеграція з пристроєм;
- тестування працездатності готової системи.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії між компонентами

мікропроцесорних засобів моніторингу параметрів зовнішнього середовища.

Предметом дослідження є технічні засоби виявлення витoku газу із застосуванням мікроконтролера, сенсорів якості повітря, модулів керування та засобів оповіщення.

Методи дослідження включають:

— методи порівняльного аналізу при оцінці ефективності різних сенсорних модулів і каналів зв'язку;

— методи системного аналізу для формування вимог до функціональності пристрою та його логічної структури;

— аналітичний підхід при порівнянні існуючих рішень і доборі елементної бази;

— методи проєктування мікропроцесорних засобів;

— експериментальні методи налагодження та тестування.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз вимог до мікропроцесорного детектора газу

Детектор газу є досить важливим елементом системи безпеки приміщень, він є захистом від аварій що пов'язані із витоком газу [1]. Його використання повинне бути обов'язковим в приміщеннях де присутнє газове обладнання, тому він повинен відповідати низці основних факторів як:

- надійність і точність виявлення газів;
- простота у використанні, із зрозумілим для користувача інтерфейсом та функціоналом;
- фільтрація від хибних спрацювань, зокрема від пилу чи кухонного диму або пару;
- мінімальні вимоги до обслуговування, тобто досить довгий період роботи без втручання користувача;
- швидка реакція, для вчасного виявлення витоку газу і повідомити по це користувача.

Вимоги до апаратної частини полягають в тому що в детекторі повинні використовуватись лише надійні сенсори газу які можуть виявити не тільки природній газ як пропан та бутан а ще і інші шкідливі гази як приклад чадний газ. Також сенсор повинен бути стійким до надмірної чутливості, парам та пилу тому для цього ідеально підходять модулі MQ серії. Їх є велика кількість але потрібні саме ті що відповідають певним характеристикам і мають відповідну чутливість до газів. Також до апаратної частини можна віднести сигнальні пристрої. При витоку газу користувач повинен бути проінформований тому передбачується використання світлового сигналу (світлодіоду) та звукового сигналу (зумера). Основним елементом керування повинен бути мікроконтролер який підтримує Wi-Fi, це потрібно для взаємодії з месенджером та надання стабільного джерела живлення з мережі.

Що стосується вимог до програмної частини то тут варто зазначити що система повинна включати програмне забезпечення яке постійно зчитує

результати з газового сенсора і перевіряє їх на відповідний рівень газу, в разі виявлення високого рівня газу повинна активувати відповідні заходи безпеки. До цих заходів відноситься вмикання світлового та звукового сигналу а так же оповіщення в месенджері. Для цього в месенджері буде створений бот, основною роботою якого буде сповіщати користувача про небезпеку (високий рівень газу в приміщенні де знаходиться детектор газу. Щоб уникнути хибних сигналів потрібна наявність низки фільтрів та алгоритмів фільтрації. А додаткова можливість віддаленого керування та моніторингу надає досить зручний контроль системи в реальному часі без прив'язки до конкретного місця перебування.

Також повинен бути реалізований додатковий функціонал який має включати в себе можливість вимірювання температури, вологості та тиску.

Результатом всього вищесказаного повинен стати пристрій який включає в себе газові сенсори здатні швидко та точно вимірювати концентрацію газу, систему сигнальних пристроїв, стабільне джерело живлення, уникнення помилкових спрацювань та можливість керування і моніторингу через месенджер.

1.2 Огляд та класифікація засобів для виявлення витoku газу

Всі засоби для виявлення витoku газу можна класифікувати за наступними категоріями:

- методом сповіщення;
- сферою використання;
- типом живлення;
- за принципом дії на витік газу;
- за можливістю інтеграції в систему.

Кожна з цих класифікацій має як свої позитивні так і негативні сторони для певного застосування, оскільки вибір залежить від умов експлуатації, типу газу, технічних вимог та рівня безпеки. Тому для вибору більш підходящого

варіанту потрібно враховувати всі вищеперечислені типи. Наприклад сенсори що працюють за одним принципом можуть показати свою високу ефективність в домашньому використанні, а в промислових умовах показувати низьку ефективність.

За методом сповіщення поділяють на:

- світлові сповіщувачі;
- вібраційні сповіщувачі;
- звукові сповіщувачі;
- дистанційні сповіщувачі.

Світлові сповіщувачі сигналізують про небезпеку витоку газу за допомогою світлових елементів як світлодіодні індикатори або лампи. Зазвичай його доповнюють звуковим або дистанційним сповіщенням для більшої ефективності та надійності. Основними недоліками даного методу сповіщення можна назвати обмежену ефективність у певних умовах, обов'язкове перебування індикатора у полі зору людини та погана ефективність на відкритому повітрі.

Вібраційні сповіщувачі є найменш розповсюдженими серед всіх видів сповіщення, вони попереджають про небезпеку за допомогою вібраційних сигналів. Зазвичай їх використовують як додатковий спосіб оповіщення там де звукові або світлові сповіщувачі є неефективними.

Звукові сповіщувачі використовують гучний звуковий сигнал для привернення уваги та оповіщення про небезпеку. Цей тип сповіщувачів є найрозповсюдженішим завдяки широкій зоні дії, простій конструкції та високій ефективності. До недоліків можна віднести неефективність для людей з порушенням слуху та погана ефективність у досить шумному середовищі [2].

Дистанційні сповіщувачі серед всіх вищезазначених є найновішим видом сповіщення, однак показали свою високу ефективність у випадках коли користувач не перебуває у приміщенні але має отримати повідомлення про витік газу. Оповіщення здійснюється за допомогою технологій Wi-Fi, GMS або Bluetooth.

За сферою використання поділяють на:

- побутові сповіщувачі;
- промислові сповіщувачі;
- комерційні сповіщувачі.

Основним призначенням побутових сповіщувачів є попередження про небезпеку у житлових приміщеннях зокрема у квартирах та будинках де активно використовуються газові прилади. Як правило вони мають компактний розмір. До основних плюсів можна віднести невелику вартість, простоту у встановленні та компактність. Одним основним недоліком є невеликий радіус дії.

Промислові сповіщувачі на відміну від побутових мають більш широкий спектр виявлення газів, надзвичайно високу точність та чутливість, високу надійність та стійкість до складних умов. Саме тому їх використовують на підприємствах та інших промислових об'єктах, де існує висока ймовірність витоку небезпечних газів.

Комерційні сповіщувачі зазвичай використовують у громадських або комерційних приміщеннях (готелях, школах, лікарнях ітд.) де потрібна своєчасне та швидке виявлення небезпеки. До основних плюсів можна віднести значно набагато більший радіус дії, на відміну від побутових сповіщувачів, підвищену надійність та можливу інтеграцію з іншими системами, такими як пожежна сигналізація або система вентиляції.

За типом живлення сповіщувачі поділяються на [3]:

- мережеві;
- автономні;
- гібридні.

Мережеві сповіщувачі є досить розповсюдженими, до їхніх особливостей можна віднести те що живлення вони отримують стабільне живлення напругу від електричної мережі що в результаті забезпечує стабільну роботу без потреби в заміні батарей. Основним їхнім недоліком є те, що в разі відключення електроенергії робота детектора газу буде призупинена на період, поки не

відновиться живлення, що може призвести до не виявлення небезпечної концентрації газу в критичний момент.

Автономні сповіщувачі працюють на вбудованих батареях та акумуляторах там де не має можливості підключення до мережі живлення. Іноді їх використовують як альтернатива мережевим коли відсутнє живлення з мережі.

Гібридні або комбіновані сповіщувачі газу це сповіщувачі які забезпечують безперебійну роботу при виключенні напруги з мережі. Вони об'єднують в собі два джерела живлення, а саме електричну мережу та вбудований акумулятор, що робить їх надзвичайно ефективними там де потрібна їх безперебійна робота.

За принципом дії на витік газу існують:

- пасивні засоби;
- активні засоби.

Пасивні засоби сигналізують про наявність викидів газу, але не здійснюють жодних дій у відповідь, тобто вимагають подальших дій від користувача за для усунення небезпеки. Чудовим прикладом є звукові та світлові сповіщувачі, які лише попереджають про небезпеку.

Активні засоби на відміну від пасивних не лише виявляють витік газу, а ще і реагують на нього здійснюючи дії для його усунення. До цих дій можна віднести перекриття газопостачання, вмикання вентиляційних систем ітд.

За можливістю інтеграції в мережу існують:

- автономні системи;
- інтегровані системи.

Автономні системи працюють без підключення будь яких зовнішніх мереж або систем. Вони виконують тільки базові функції як виявлення газу та сповіщення про викид, тому їх застосовують там де не потрібна інтеграція з іншими системами безпеки [4].

Інтегровані системи мають можливість інтеграції з іншими системами безпеки та мають підключення до інтернету, що надає можливість віддаленому

моніторингу, керуванню та автоматичне виконання дій спрямованих на усунення загрози [5].

Кожна з вищезазначених категорій має як свої переваги так і недоліки, тому вибір найефективнішого інструменту для запобігання витoku газу визначається відповідними умовами експлуатації та вимогами до безпеки. Використання підходу, що поєднує декілька типів сенсорів, методів сповіщення та засобів реагування, надає можливість створити більш ефективну систему попередження про витік газу, що гарантує високий рівень безпеки .

1.3 Вибір та аналіз аналогів

Одним з аналогів розроблюваного пристрою є детектор газів Kidde MTG- 3000H (рис. 1). Його призначення це контроль приміщень на наявність таких газів як природний газ, пропан, бутан та їх суміші. Він має каталітичний тип сенсора, що надає високу чутливість і змогу виявляти низькі концентрації газів (до 1% об'єму газу).

До його сильних сторін також можна віднести те що даний сенсор має швидку реакцію на зміну концентрації газу в повітрі та непогану стабільність роботи при високих температурах (від -10 °C до + 40 °C) та тиску [6].

Варто зазначити, що детектор завдяки своїй простоті в установці та експлуатації, а також компактним розмірам і дуже малій вазі є ідеальним для використання в умовах, де обмежений простір. Це дає змогу зручно розмістити пристрій, не займаючи зайвого місця. Такий фактор особливо важливий для невеликих квартир, кухонь або малих кімнат, де кожен сантиметр має значення. Крім того, мінімалістичний дизайн пристрою дозволяє гармонійно вписати його в будь-який інтер'єр, не порушуючи загальної естетики приміщення.

Оптична та звукова сигналізація вмикаються вже тоді, коли концентрація газу в повітрі досягає лише 12 % від гранично допустимої норми. Це означає, що пристрій може вчасно попередити про можливий витік газу, ще до того, як ситуація стане небезпечною. Такий рівень чутливості дає користувачам

додатковий час на реакцію і дозволяє уникнути наслідків.



Рисунок 1 — Детектор газу Kidde MTG-3000H

Акустичний сигнал тривоги складає приблизно 85 дБ, чого вистачить для привернення уваги до небезпеки навіть в шумному середовищі.

Детектор має три LED індикатори та систему самодіагностики, яка контролює стан сенсора. У разі некоректної роботи загоряється жовтий світлодіод, повідомляючи про виявлення несправності.

До основних недоліків можна віднести можливість хибних спрацювань від попадання пилу або пару, оскільки умови навколишнього середовища можуть впливати на чутливість сенсора, високу вартість та необхідність регулярного технічного обслуговування.

Загалом, незважаючи на всі недоліки, детектор газу Kidde MTG-3000H є досить непоганим та ефективним детектором для побутового використання, що забезпечує достатній рівень безпеки. Його стабільна робота, висока чутливість до метану та наявність сертифікації роблять цей пристрій надійним засобом контролю газової безпеки в побуті.

Якщо важливо забезпечити додатковий рівень безпеки (наприклад, у приміщеннях із котлами, газовими плитами або колонками), цей детектор може стати цілком розумним і доцільним вибором.

Всі ключові характеристики детектора газу Kidde MTG-3000H

представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Характеристики детектора газу Kidde MTG-3000H

Об'єкт детекції	Пропан та бутан та їх суміші
Тип сенсора	Каталітичний
Тип живлення	Мережевий
Напруга живлення	230 В
Споживана потужність	≈ 2,5 Вт
Робоча температура	Від -10°C до +40°C
Типи сповіщувачів	Звукова (85 дБ), світлова (червоний LED)
Поріг спрацювання	12% від нижньої межі вибуховості газу
Площа покриття	25 м ²
Габарити	(75 × 75 × 35) мм

Ще одним з аналогів є сигналізатор побутового газу Лелека-2 КГ-ІР-АС 220 В (рис. 2). Його особливістю є те що він здатен одночасно виявляти наявність декількох небезпечних газів. До переліку газів які він може виявити належать метан, пропан, бутан, чадний газ та пропан-бутанові суміші [7].



Рисунок 2 — Сигналізатор побутового газу Лелека-2 КГ-ІР-АС 220 В

В залежності від модифікації в ньому можуть використовуватися

комбінації напівпровідникового та електрохімічного або інфрачервоного та електрохімічного сенсорів, що надає підвищену точність виявлення, розширений спектр визначуваних газів та кращу адаптацію до умов експлуатації. Даний сигналізатор також має декілька типів модифікацій для різних типів газів та умов, включаючи підвищений захист від вологи, можливість налаштування рівня чутливості та ручне калібрування.

Простий інтерфейс та чудова енергоефективність в поєднанні з компактними габаритами роблять його чудовим варіантом для тих, хто шукає оптимальне рішення для безпеки з мінімальними витратами енергії та місця.

Даний сигналізатор газу має мережевий тип живлення, тобто живиться від стандартної електромережі. Так як і в попередньому детекторі газу, Лелека- 2 КГ-ІР-АС 220 В оснащений світловою та звуковою сигналізацією, де гучність становить 90 дБ, чого є достатньо для привернення уваги в домашніх умовах. Для світлової індикації використовується світлодіод, який забезпечує візуальне попередження про небезпеку навіть у темному приміщенні.

Простий інтерфейс та чудова енергоефективність в поєднанні з компактними габаритами роблять його чудовим варіантом для тих, хто шукає оптимальне рішення для безпеки з мінімальними витратами енергії та місця.

Даний сигналізатор газу має мережевий тип живлення, тобто від стандартної електромережі 220 В. Це забезпечує його безперервну роботу без необхідності регулярної заміни батареї, однак варто зазначити, що при відключенні електроенергії пристрій не працюватиме без додаткового резервного живлення.

Проте серед недоліків можна зазначити відсутність підключення Wi-Fi чи Bluetooth, що не дає змогу дистанційного моніторингу і керування та відсутність автономного живлення. І варто підкреслити, що основним його недоліком є надто висока ціна. Незважаючи на надійність та функціональність, для побутового використання можуть бути обрані більш доступні аналоги подекуди з кращим функціоналом.

Усі ключові технічні характеристики побутового газового сигналізатора

«Лелека-2 КГ-ІР-АС 220 В» систематизовані та представлені у таблиці 1.2. У ній наведено основні параметри пристрою, які визначають функціональність та надійність роботи пристрою в побутових умовах. Ці характеристики дають змогу об'єктивно оцінити можливості приладу.

Таблиця 1.2 — Характеристики сигналізатора газу Лелека-2 КГ-ІР-АС

Об'єкт детекції	Метан, пропан та бутан, їх суміші та чадний газ
Тип сенсора	Іч—сенсор + електрохімічний сенсор
Тип живлення	Мережевий
Напруга живлення	220 В
Робоча температура	Від 0°C до +40°C
Типи сповіщувачів	Звукова (90 дБ), світлова (червоний LED)
Відносна вологість	до 95 % за температури 25°C
Поріг спрацювання	10% від нижньої межі вибуховості (LEL)
Габарити	(85 × 85 × 45) мм
Площа покриття	До 30 м ²

Однак найбільш близьким до розроблюваного пристрою є сенсор витоку газу Fuers BRJ-502D (рис. 3). У сенсорі встановлено напівпровідниковий нагрівний сенсор. В порівнянні із попередніми аналогами даний сенсор має вбудований цифровий дисплей, що дає можливість в реальному часі спостерігати за поточним рівнем газу [8].

Дуже малі розміри дають можливість його розміщувати в різних місцях, що в свою чергу дозволяє забезпечити оптимальне покриття для виявлення газу навіть у важкодоступних місцях.

Одним із основних недоліків є відсутність дистанційного моніторингу та керування, що робить його менш зручним для використання в умовах, де важливий віддалений доступ і контроль за станом системи.

В підсумку можна сказати що сенсор витоку газу Fuers BRJ-502D — це надійне рішення для виявлення витоків газу у побутових приміщеннях. Він

надає високу точність і простоту в експлуатації в поєднанні із досить не високою ціною, що робить його доступним і зручним для більшості користувачів. Характеристики даного сенсора витоку газу зазначені в таблиці 1.3



Рисунок 3 — Сенсор витоку газу Fuers BRJ-502D

Таблиця 1.3 — Характеристики сенсора витоку газу Fuers BRJ-502D

Об'єкт детекції	Метан, пропан-бутан
Тип сенсора	Напівпровідниковий сенсор
Тип живлення	Мережевий
Напруга живлення	220 В, 60 Гц.
Робоча температура	Від -10°C до +40°C
Відносна вологість	97%
Габарити	(120 x 70 x 30) мм.
Додаткові функції	Підсвічування індикації
Площа покриття	До 30 м ²
Поріг спрацювання	Від 3% до 20% LEL
Габарити	9 см × 5,5 см × 4 см
Типи сповіщувачів	Звуковий (85 дБ), світловий (червоний LED)

Для визначення переваг та недоліків кожного з пристроїв було проведено

порівняльний аналіз. Це потрібно для обґрунтованої необхідності розробки більш ефективної системи виявлення витoku газу із врахованими недоліками аналогів.

Детектор газу Kidde MTG-3000H є одним із лідерів на ринку детекторів газу завдяки високій чутливості і чудовій ефективності для виявлення витоків газу різних типів. Однак головними недоліками залишаються надто висока вартість, що може бути проблемою для більшості користувачів які мають наміри придбати детектор газу, необхідність регулярного технічного обслуговування що може бути незручним і витратним, а також відсутність дистанційного моніторингу та можливість хибного спрацювання через пил або пар. Тому його використання ідеально підходить як додатковий детектор для забезпечення додаткової безпеки.

Сигналізатор побутового газу Лелека-2 КГ-ІР-АС 220 В є чудовим варіантом для звичайного домашнього використання. Однак він так само як і Kidde MTG-3000H не підтримує дистанційного керування та можливості моніторити віддалено. Да і вартість серед всіх аналогів є найвищою.

Сенсор витoku газу Fuers BRJ-502D є досить непоганим дачиком для забезпечення безпеки в побутових умовах. Ефективність та простота без зайвих функцій є сильною стороною даного сенсора. Проте відсутність стаціонарного монтажу і постійного моніторингу за ситуацією в приміщенні є його слабкою стороною.

Цей аналіз показав що у всіх них є одні спільні недоліки і це відсутність оповіщення на смартфон, дистанційного моніторингу та дистанційного керування. Таким чином данні засоби для попередження про витік газу не задовольняють вимоги щодо безпеки.

2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИЯВЛЕННЯ ГОРЮЧИХ ГАЗІВ У ПОВІТРІ

2.1 Типи та характеристики газових сенсорів

Для виявлення присутності небезпечних або шкідливих газів у повітрі сьогодні використовують спеціальні пристрої — газові сенсори. Вони є ключовими елементами в системах контролю якості повітря й уже давно стали невід’ємною частиною нашого життя. Їх застосовують у місцях, де існує загроза витоку або накопичення небезпечних газів.

Газові сенсори дають змогу оперативно виявляти витoki та перевищення допустимого рівня газів, які залишаються непомітними для людини без використання відповідного обладнання.

Газові сенсори відіграють важливу роль у багатьох сферах — від забезпечення безпеки на виробництві до медичної діагностики та захисту довкілля. Їхня головна перевага — здатність швидко реагувати на зміни у складі повітря. Це, своєю чергою, дозволяє вчасно попередити людину про потенційну небезпеку для здоров’я або навіть життя, а також допомагає уникнути аварій чи екологічних катастроф.

Який саме сенсор використовувати залежить від того, де він буде встановлений, який газ потрібно виявити і наскільки точними є бути результат. Через це сенсори мають помітні відмінності за цілим рядом показників, зокрема:

- принципом дії;
- чутливістю;
- вибірковістю (спроможністю точно розпізнавати конкретні гази);
- енергоспоживанням;
- терміном служби;
- вартістю.

Найбільш поширеними типами сенсорів можна назвати: напівпровідникові, електрохімічні, інфрачервоні, ультразвукові та каталітичні сенсори. Кожен з них має свої переваги і застосовується у різних сферах — від

побутових пристроїв до промислових систем моніторингу.

Напівпровідникові газові сенсори працюють за принципом зміни власного електричного опору при контакті з молекулами газу, які взаємодіють з киснем на поверхні чутливого шару (зазвичай оксиду олова). У результаті такої взаємодії опір сенсора змінюється пропорційно до концентрації газу в навколишньому середовищі. Варто зазначити, що саме напівпровідникові сенсори становлять майже половину всіх типів газових сенсорів. Їхнім головними перевагами є низька ціна в порівнянні із іншими сенсорами, компактний розмір та висока чутливість. Проте вони менш точні в умовах підвищеної вологості або температури та мають обмежену вибірковість до окремих газів. Прикладами таких сенсорів є майже вся лінійка сенсорів серії MQ. Напівпровідникові сенсори широко застосовуються в побутових сигналізаторах.

Електрохімічні сенсори виявляють газ шляхом хімічної реакції між електролітичною рідиною, що знаходиться всередині сенсора, та газом, в результаті утворюється електричний струм, який пропорційний концентрації газу (рис. 4). Такий принцип роботи забезпечує швидку реакцію на зміну концентрації газу та мінімізує хибні спрацьовування. Ці сенсори вирізняються високою точністю, гарною вибірковістю та стабільністю показників протягом усього терміну експлуатації. Завдяки своїй конструкції вони можуть забезпечувати надійні результати навіть при низьких концентраціях газів. Їхніми недоліками є обмежений термін служби (зазвичай від 2 до 3 років, після чого сенсор втрачає точність і потребує заміни), висока вартість та залежність від температури і вологості. Такі сенсори активно використовуються в професійних портативних приладах, зокрема газоаналізаторах, моніторах повітря та пристроях персонального захисту, які застосовують рятувальники, працівники хімічної, нафтової, гірничої та енергетичної галузей. Завдяки компактним розмірам та низькому енергоспоживанню їх також застосовують у сучасних системах «розумного дому» та в екологічному моніторингу. У перспективі розвиток технологій виробництва може зробити електрохімічні сенсори

доступнішими для масового споживача та побутового використання.

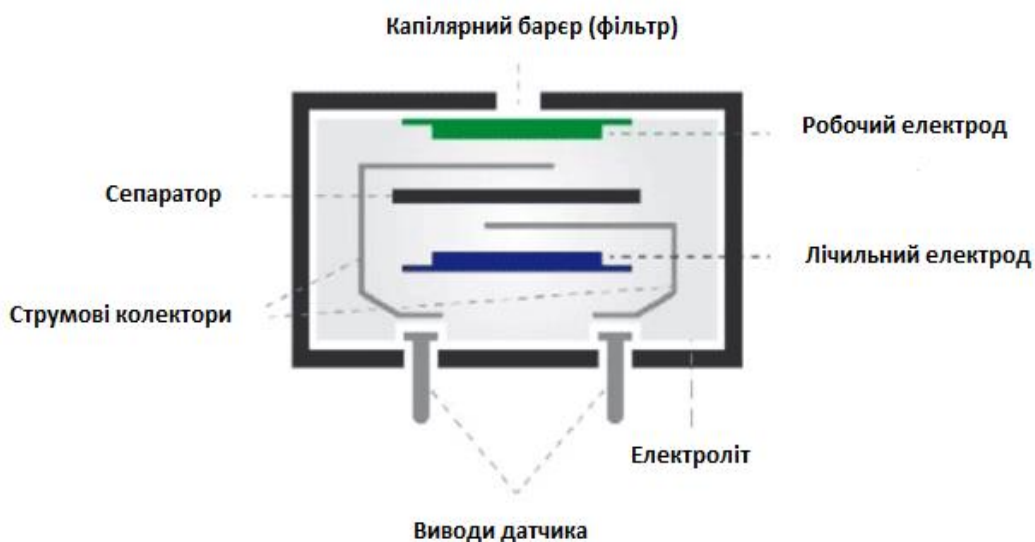


Рисунок 4 — Схема електрохімічного сенсора газу

Інфрачервоні сенсори виявляють газ за допомогою поглинання інфрачервоного світла молекулами газу, тобто випромінювач інфрачервоного світла посилає промінь через газ, а детектор вимірює інтенсивність пропущеного світла. Як наслідок кількість поглинутого світла стає пропорційною концентрації присутнього газу (чим більше газу — тим менше світла проходить). Схема інфрачервоного сенсора газу зображена нижче (рис. 5).

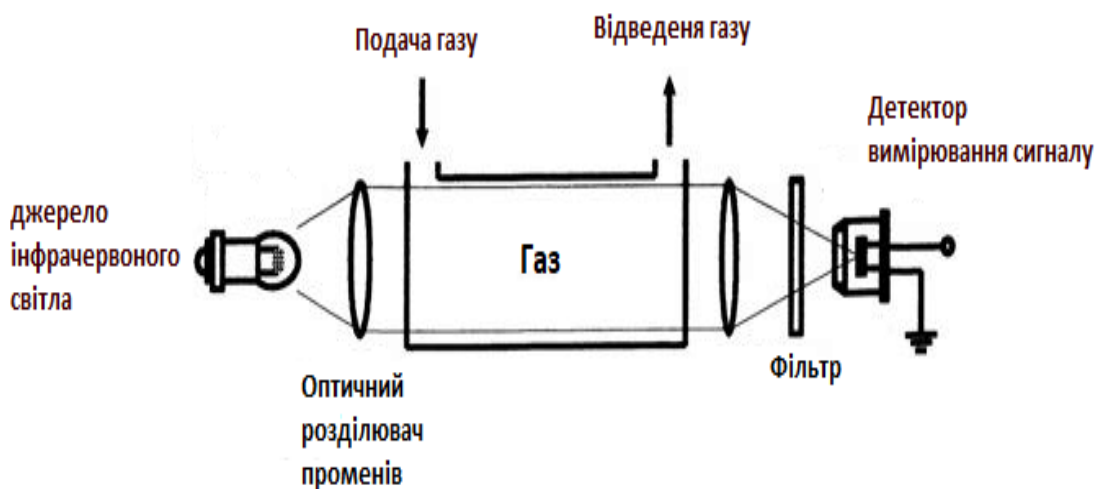


Рисунок 5 — Схема інфрачервоного сенсора газу

Вони відзначаються високою точністю, стабільністю роботи, чудовою вибірковістю, тривалим терміном служби та міцністю (не руйнуються при високих концентраціях газів). На відміну від інших типів сенсорів, інфрачервоні не споживають газ у процесі вимірювання, тому підходять для тривалого використання. Основними недоліками є висока вартість, великі габарити та чутливість до конденсату і пилу. Прикладами таких сенсорів є Senseair S8 та Honeywell IR300. Вони використовуються у вентиляційних системах, промислових газоаналізаторах та системах вентиляції.

Ультразвукові сенсори використовують ультразвукові хвилі для виявлення наявності газів у повітрі. Працюють за принципом зміни характеристик ультразвуку, коли хвилі проходять через газове середовище. Вони спочатку генерують ультразвукові хвилі, а коли ці хвилі зіштовхуються із молекулами газу відбувається зміна їхньої частоти що і виявляє сенсор. На основі цих змін можна зробити висновок про наявність певного газу. Ці сенсори ефективні для виявлення швидких витоків у відкритих просторах та не залежать від типу газу. Однак вони не дозволяють визначити точну концентрацію газу й не підходять для повільних витоків. У промисловості використовуються пристрої на основі таких сенсорів, зокрема Gassonic Observer-i та Sonus XT. Основною перевагою таких сенсорів є безконтактне виявлення — тобто немає потреби в прямому контакті з газовим середовищем. Недоліком можна вважати їх високу чутливість до шумів, вібрацій та зовнішніх перешкод, які можуть впливати на точність вимірювань.

Каталітичні сповіщувачі виявляють наявність горючих газів за допомогою нагрівального елемента покритого каталізатором. При контакті газу з цим елементом утворюється тепло що змінює опір. Зміна опору вимірюється сенсором і пропорційно визначається концентрація газу в середовищі. Такі сенсори мають високу чутливість і здатні виявляти широкий спектр горючих газів. До недоліків відноситься необхідність регулярного калібрування та можливість зниження точності у вибухонебезпечному середовищі та можливе споживання великої кількості енергії через потребу в нагріванні. До переваг

можна віднести надійність, швидка реакція на горючі гази, доступність і порівняно невисока вартість. Прикладами детекторів з такими сенсорами є Crowcon Triple Plus+ і стаціонарна система MSA Ultima X.

Каталітичні сенсори широко застосовуються в промисловості, особливо для виявлення вибухонебезпечних сумішей газу з повітрям, зокрема в нафтогазовому секторі, на хімічних підприємствах та в системах моніторингу повітря у вибухонебезпечних зонах. Схема каталітичного сенсора газу зображена на рисунку 6.

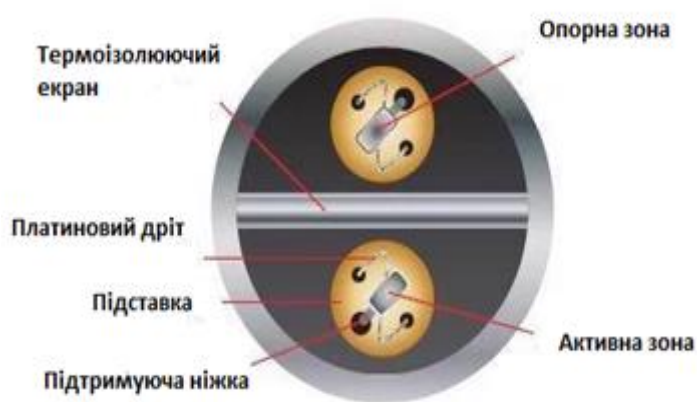


Рисунок 6 — Схема каталітичного сенсора газу

Таким чином, серед різноманіття сенсорів, що застосовуються у мікропроцесорних газових детекторах, саме напівпровідникові сенсори найчастіше обирають для побутового використання завдяки їхній доступності, компактності та здатності виявляти широкий спектр газів. Хоча вони поступаються електрохімічним та інфрачервоним сенсорам у точності й вибірконості, їх переваги у вартості та простоті інтеграції з мікроконтролерами роблять їх оптимальним рішенням для недорогих та масових рішень. Завдяки цьому напівпровідникові сенсори широко використовуються у поєднанні з сучасними мікропроцесорами та модулями бездротового зв'язку для реалізації систем оповіщення.

2.2 Характеристики напівпровідникових газових сенсорів MQ

Сенсори серії MQ — це широко розповсюджені напівпровідникові газові сенсори, які використовуються для виявлення різних типів горючих, токсичних та летких органічних сполук у повітрі. Їх основою є чутливий елемент, виготовлений на базі оксиду металу (діоксиду олова SnO_2), електричний опір якого змінюється при контакті з молекулами газу. Цей принцип дії забезпечує високу чутливість до низьких концентрацій газів при відносно низькій вартості сенсора.

Кожен сенсор працює в діапазоні напруги живлення 5 В та має нагрівальний елемент, який підтримує необхідну температуру чутливого шару для забезпечення стабільної реакції з газом. Сенсори характеризуються швидким відгуком (від 3 до 5 секунд) і мають аналоговий або цифровий вихід, що спрощує інтеграцію з мікроконтролерами.

Із широкого модельного ряду сенсорів серії MQ лише п'ять моделей є найбільш ефективними для виявлення пропану, бутану, метану та інших горючих газів — MQ-2, MQ-4, MQ-5, MQ-6 та MQ-9.

Сенсор MQ-2 — це універсальним напівпровідниковим сенсором. Він широко використовується в побутових і промислових системах безпеки завдяки своїй високій чутливості, швидкому відгуку та простоті використання. MQ-2 має чутливість до наступних газів: пропану (propane), бутану (LPG), метану (CH_4), водню (H_2), спиртів (alcohol), чадного газу (CO) та диму (smoke).

Діаграма чутливості показує, як змінюється відносний опір сенсора MQ-2 (R_s/R_0) залежно від концентрації різних газів у повітрі (рис. 7). Це дозволяє оцінити, наскільки сильно сенсор реагує на присутність кожного з газів, і при яких концентраціях ця реакція є найбільш помітною. По графіках видно що при зростанні концентрації газу опір зменшується, тобто чим нижче розташована крива — тим вища чутливість сенсора до цього газу. Проаналізувавши графіки можна побачити що MQ-2 є найбільш чутливим до бутану, пропану [9]. Діапазон виявлення бутану і пропану становить приблизно від 300 до 10 000 ppm.

Оскільки всі сенсори серії MQ мають чутливий елемент — оксид олова

(SnO_2), але відрізняються складом додаткових домішок. Домішки додаються, щоб змінити його чутливість до певних газів. У MQ-2 додатковими домішками є платина та паладій. Вони підвищують чутливість до водню та бутану.

Конструктивно MQ-2 складається з мікрокерамічної трубки, покритої шаром SnO_2 , до якої приєднані електроди та нагрівач. Зовні захищений металевою сіткою, яка виконує роль протиіскрового захисту та фільтра від пилу (рис. 8).

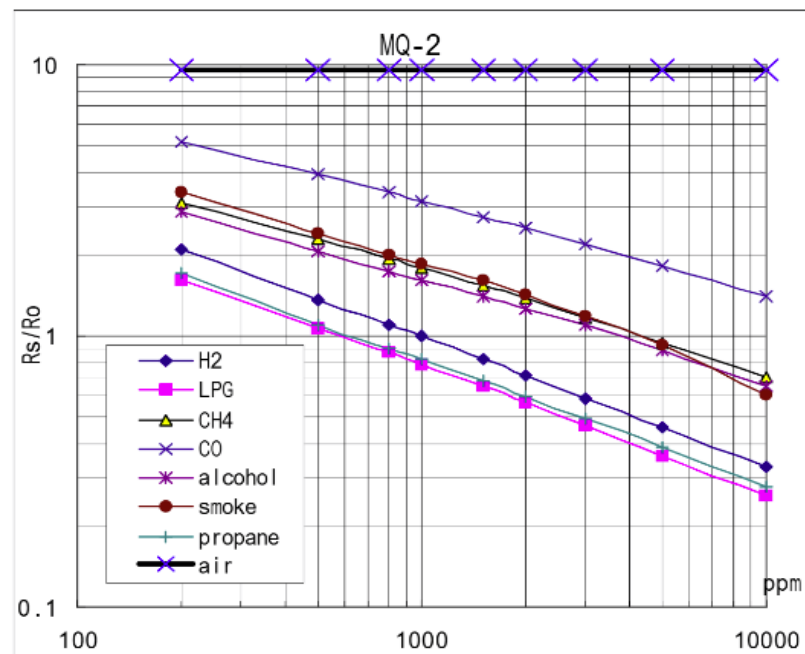


Рисунок 7 — Діаграма чутливості сенсора MQ-2



Рисунок 8 - Зовнішній вигляд сенсора MQ-2

MQ-2 широко використовується в побутових детекторах газу, автономних сигналізаціях, системах контролю повітря, а також в освітніх і дослідницьких проектах на базі Arduino та інших мікроконтролерів. Його простота, низька вартість і надійність роблять цей сенсор одним з найпопулярніших у своєму класі. Всі основні характеристики сенсора газу MQ-2 зображено в таблиці 2.1. Слід зауважити, що всі сенсори, які розглядатимуться у даній роботі, характеризуються ідентичними технічними параметрами, за винятком домішок до чутливого елемента, що зумовлюють вибір цільових газів для детектування.

Таблиця 2.1 — Характеристики сенсора газу MQ-2

Тип сенсора	Напівпровідниковий
Чутливий елемент	SnO ₂ (діоксид олова)
Домішки до чутливого елемента	Pt (платина), Pd (паладій)
Цільові газу	Бутан, пропан та водень
Напруга живлення	5 В
Споживання струму	≤ 150 мА
Робоча температура	Від -10 °С до +50 °С
Вологість повітря (робоча)	Від 5% до 95% RH (без конденсації)
Час відгуку	≤ 10 секунд
Вихідний сигнал	Аналоговий + цифровий
Ресурс служби	Близько 10 років
Розміри	32 мм × 20 мм × 22 мм

На відміну від минулого MQ-2, сенсор MQ-4 має вузьку спеціалізацію. Це чудово видно на його діаграмі чутливості (рис. 9) [10]. Проаналізувавши діаграму чутливості сенсора MQ-4, можна зробити висновок, що цей сенсор має найвищу чутливість до метану (CH₄)— саме для нього крива R_s/R_0 розташована нижче порівняно з іншими газами. Це означає, що при однакових концентраціях метану опір сенсора зменшується сильніше, ніж у випадку присутності інших газів, таких як водень або пропан.

MQ-4 має більш чітко виражену спеціалізацію — його конструкція оптимізована саме для виявлення метану. Це робить MQ-4 кращим вибором у випадках, коли необхідна точна та надійна детекція саме цього газу, наприклад, у газових плитах, системах вентиляції або сигналізації побутових приміщень. Окрім метану, сенсор також реагує на інші горючі гази (водень, пропан), проте з меншим ступенем чутливості. Таким чином, MQ-4 можна вважати селективним сенсором для метану, хоча у високих концентраціях він також може частково реагувати на інші гази.

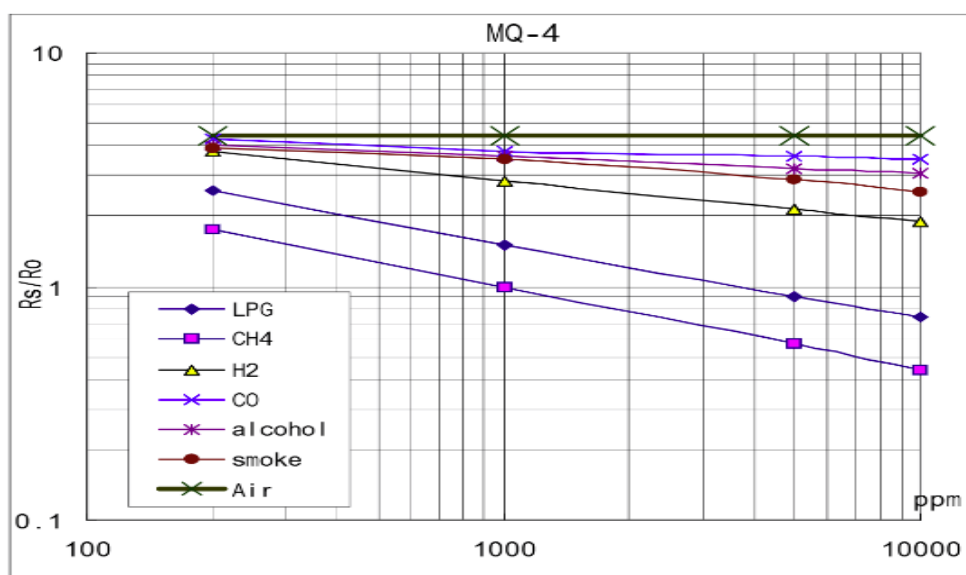


Рисунок 9 — Діаграма чутливості сенсора MQ-4

За принципом роботи MQ-4 не відрізняється від MQ-2 — його функціонування також базується на зміні електропровідності напівпровідникового шару внаслідок хімічної взаємодії з молекулами цільових газів у нагрітому середовищі. Навіть конструкція у них однакова, але основна відмінність між ними полягає у специфіці домішок до чутливого шару та характеристиках чутливості, які визначають, до яких саме газів сенсор буде найбільш чутливим. До чутливого елементу MQ-4 додається паладій (Pd), який виконує роль каталізатора та підвищує вибірковість сенсора до метану. Завдяки наявності паладію відбувається ефективніше окислення молекул метану на

поверхні сенсора, що забезпечує більш точне та стабільне виявлення саме цього газу в порівнянні з іншими горючими сполуками.

Діапазон виявлення метану становить орієнтовно від 200 до 10 000 ppm, що робить сенсор придатним як для виявлення невеликих концентрацій, так і для більш небезпечних витоків.

Сенсор MQ-5 є одним із найкращих сенсорів для виявлення горючих газів змішаного складу завдяки своїй високій чутливості, стабільності показників та широкому діапазону виявлення. Може виявити такі гази як бутан, пропан, водень, метан та пари алкоголю (рис. 10) [11].

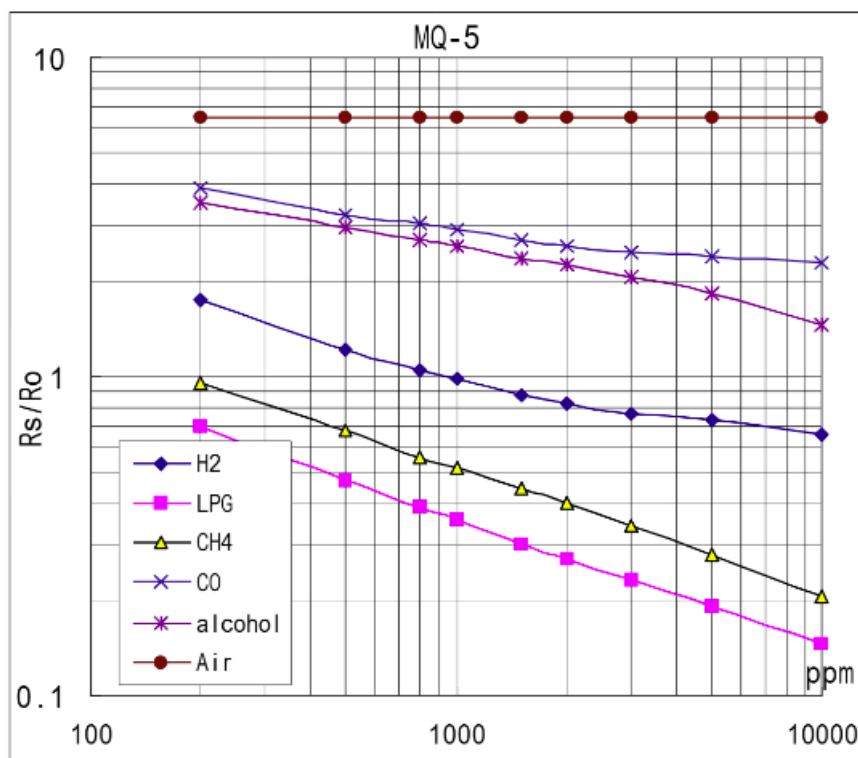


Рисунок 10 — Діаграма чутливості сенсора MQ-5

Його універсальність робить його особливо ефективним у побутових газових сигналізаторах, системах вентиляції, пристроях безпеки та автоматизованих контролерах витоків газу. MQ-5 добре справляється з виявленням як окремих компонентів, так і комплексних газових сумішей, зберігаючи при цьому швидкий час відгуку.

Має найкращу чутливість до бутану, пропану та метану серед всіх сенсорів MQ серії. А також має середню чутливість до парів алкоголю та чадного газу.

Принцип роботи MQ-5 аналогічний до інших сенсорів MQ серії. За конструкцією сенсор подібний до інших моделей серії MQ: він має металевий корпус із сіткою, вбудований нагрівальний елемент, чутливий шар та стандартну плату з 6 контактами. Основна відмінність полягає у типі домішок, доданих до активного елементу. Основними домішками є оксид міді та платина, які зменшують вплив вологи та покращують загальну чутливість і швидкість відгуку. Значна концентрація платини в активному елементі сенсора виступає потужним каталізатором, який активує реакції з горючими газами.

Діапазон виявлення MQ-5 становить від 200 до 10 000 ppm для бутану, пропану, водню та метану. Сенсор добре працює у середовищі побутових витоків газу, де концентрації зазвичай не перевищують 1000–3000 ppm.

Завдяки своїй універсальності MQ-5 добре підходить для систем моніторингу як побутових, так і промислових середовищ, де можливі витoki газу з кількох джерел. У порівнянні з MQ-2 чи MQ-4, MQ-5 має більш збалансовану чутливість до різних типів горючих газів, хоча й поступається вузькоспеціалізованим моделям у точності для конкретних газів.

Завдяки стабільності сигналу у повітрі, MQ-5 можна вважати надійним і збалансованим сенсором для застосування в системах контролю витоків газів та безпеки.

Сенсор MQ-6 має дещо схожу чутливість до конкретних газів MQ-5. Він чудово підходить для виявлення пропану, бутану та скрапленого нафтового газу (рис. 11).

Як і решта сенсорів серії MQ, принцип роботи MQ-6 ґрунтується на зміні електропровідності напівпровідникового шару при взаємодії з молекулами газу у нагрітому середовищі. При потраплянні цільового газу (наприклад, пропану) на поверхню сенсора, відбувається хімічна реакція, яка знижує опір сенсора (R_s), що фіксується через зміну вихідного сигналу.

Згідно з графіками чутливості, сенсор демонструє найкращу реакцію саме

на скраплений нафтовий газ, тоді як реакція на водень, метан та пари алкоголю значно слабша [12]. Це означає, що MQ-6 не варто використовувати як універсальний сенсор для багатьох типів горючих газів — натомість він надає високу точність та стабільність у своїй спеціалізованій сфері.

До чутливого елементу MQ-6 додається каталізатор — паладій, який покращує вибірковість сенсора саме до бутану та пропану, а також в незначній кількості платина та оксид алюмінію. Паладій прискорює реакції окиснення цих газів, знижуючи поріг їх виявлення та покращуючи точність у вузькому діапазоні. Це робить MQ-6 надійним рішенням у сферах, де критично важливе виявлення скрапленого нафтового газу.

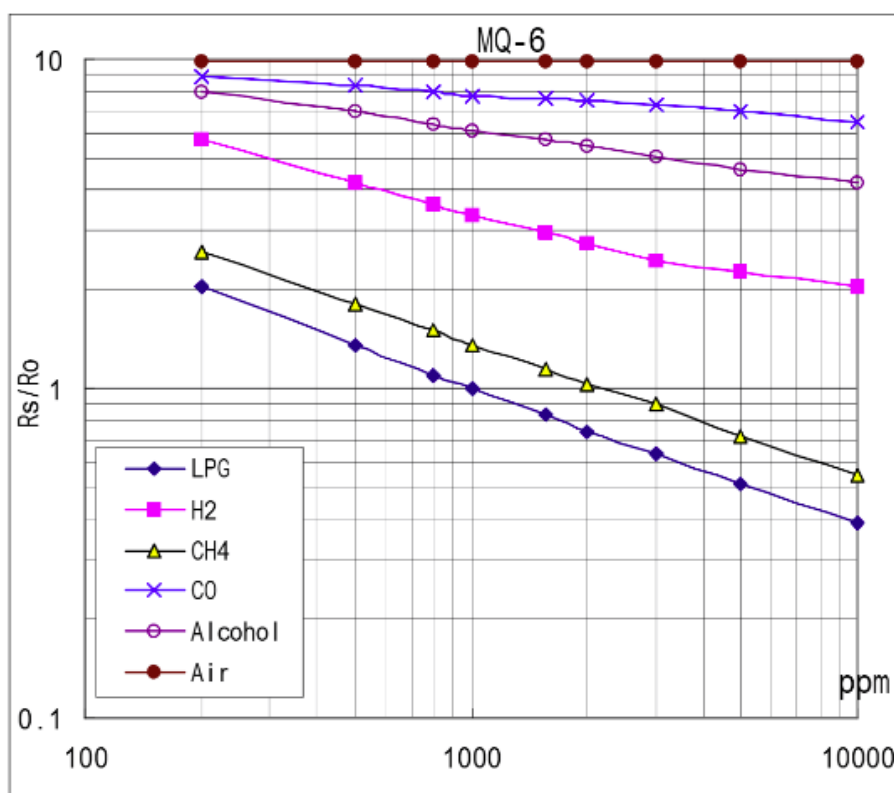


Рисунок 11 — Діаграма чутливості сенсора MQ-6

Діапазон виявлення для таких горючих газів, як пропан, бутан та скраплений нафтовий газ становить від 300 ppm до 10 000 ppm. Цей діапазон офіційно зазначено в технічній документації виробника (Winsen Electronics).

Сенсор працює стабільно в діапазоні температур від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$, при

вологості повітря від 5% до 95% RH (без конденсації).

Сенсор MQ-9 належить до тієї ж серії напівпровідникових газових сенсорів, що й MQ-2, MQ-4, MQ-5 та MQ-6, але має інший профіль чутливості та конструктивні особливості, які роблять його більш специфічним у практичному застосуванні.

MQ-9 має кілька важливих переваг порівняно з іншими сенсорами серії MQ. По-перше, він характеризується високою чутливістю до чадного газу (CO) — це одна з небагатьох моделей у лінійці, яка справді ефективно виявляє цей небезпечний газ (рис. 12) [13]. Крім того, MQ-9 має додаткову чутливість до метану (CH₄), що дозволяє йому виявляти вибухонебезпечні суміші в повітрі. Особливістю конструкції є комбіноване використання нагріву: періодичне перемикання між високою та низькою температурою дає змогу поліпшити селективність сенсора до різних газів, змінюючи умови їх окиснення на поверхні чутливого елемента. Завдяки цьому MQ-9 забезпечує вищу вибірковість у порівнянні з універсальними сенсорами, що робить його більш придатним в тих випадках, де важлива точність виявлення окремих газів.

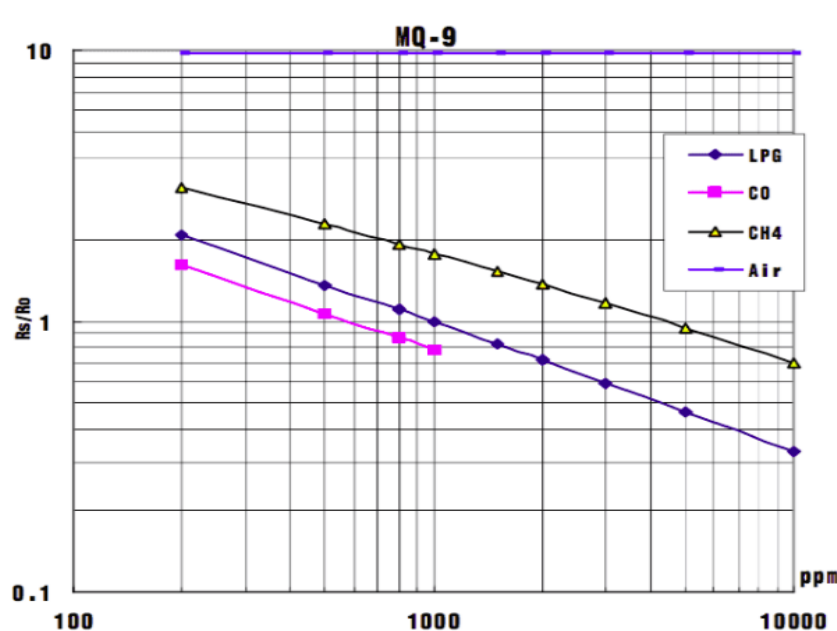


Рисунок 12 — Діаграма чутливості сенсора MQ-9

Недоліки сенсора MQ-9 полягають у тому, що для нормальної роботи він

потребує складнішого керування — потрібно періодично змінювати напругу на його нагрівачі від 1.5 В до 5 В, а це вимагає додаткових схем або мікроконтролера. Цей сенсор не є універсальним, оскільки гірше виявляє такі гази, як побутовий газ, водень і спирти, у порівнянні з іншими сенсорами, наприклад MQ-2 чи MQ-5. Через такий режим роботи MQ-9 споживає більше енергії, що може бути незручно для пристроїв, які працюють від батарейок. Крім цього, він коштує дорожче і його важче налаштувати.

MQ-9 добре підходить для ситуацій, де потрібно надійно виявляти чадний газ, наприклад у системах безпеки, вентиляції або в гаражах. Якщо потрібен сенсор, який реагує на багато різних горючих газів, особливо для побутових приладів чи універсальних аналізаторів повітря, то краще обрати MQ-2 або навіть MQ-5. Для точного виявлення метану найкраще підходить MQ-4, а для виявлення побутового газу чи скрапленого нафтового газу варто використовувати MQ-5.

3 РОЗРОБКА МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ДЕТЕКТОРА ГАЗУ З ОПОВІЩЕННЯМ У МЕСЕНДЖЕР

3.1 Розробка структурної схеми мікропроцесорного детектора газу

Розробка структурної схеми є ключовим етапом проєктування мікропроцесорного пристрою, що забезпечує формалізоване уявлення про функціональну побудову системи. Структурна схема відображає взаємозв'язки між основними функціональними блоками без деталізації електричних з'єднань або фізичного компонування елементів. Її побудова є доцільною для формування загального уявлення про принцип дії пристрою. Структурна схема наведена у додатку В.1.

Центральним елементом структурної схеми виступає мікроконтролер до якого підключені блоки збору, обробки, відображення та передавання інформації. Основним сенсорним елементом системи є сенсор газу, який виконує ключову функцію виявлення потенційно небезпечних горючих газів у навколишньому середовищі. Додаткову функціональність забезпечує сенсор мікроклімату, що здійснює вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску. Дані з обох сенсорів надходять до обчислювального модуля для подальшого аналізу й прийняття рішень щодо реагування системи.

У разі перевищення встановлених порогових значень, система активує засоби аварійного сповіщення: світлодіод та бузер, що забезпечують візуальну й звукову сигналізацію. Крім того, інформація про стан передається віддалено через сервіс обміну повідомленнями Telegram, що стало можливим завдяки наявності Wi-Fi модуля .

Дисплей виконує функцію виведення інформації, яка зчитується з сенсорів та генерується мікроконтролером. На ньому відображаються такі дані, як рівень концентрації газу, температура, вологість, атмосферний тиск, а також повідомлення про аварійні стани або поточний режим роботи пристрою. Це дозволяє користувачу отримувати актуальну інформацію без необхідності підключення до смартфона чи комп'ютера.

Загальна побудова пристрою є модульною, що забезпечує зручність обслуговування, можливість заміни окремих елементів, а також гнучкість у розширенні функціональних можливостей системи.

3.2 Вибір елементної бази

Одним із перших і найважливіших кроків під час розробки пристрою є вибір мікроконтролера, який виконує функцію керуючого елементу всієї системи. У даному проєкті було обрано Wemos D1 mini — компактну плату, побудовану на базі модуля ESP8266 [14].

Wemos D1 mini забезпечує можливість обробки даних від сенсорів, керування виконавчими елементами та передавання інформації через бездротовий зв'язок. Завдяки наявності вбудованого Wi-Fi модуля, плата може взаємодіяти з мережевими сервісами без потреби у додаткових комунікаційних пристроях.

Її перевагами є компактний розмір, сумісність з широким спектром сенсорів і модулів і підтримка популярних середовищ розробки. Важливою перевагою Wemos D1 mini є низька вартість у порівнянні з аналогічними мікроконтролерами, при збереженні широкої функціональності. Все це робить Wemos D1 mini оптимальним вибором для реалізації проєктів, пов'язаних із бездротовим збором і передачею даних.

WeMos D1 Mini дозволяє виконувати обчислення й передавати дані через мережу Wi-Fi стандарту 802.11 b/g/n. b/g/n — це позначення стандартів Wi-Fi, які визначають швидкість і діапазон частот для бездротових мереж [15].

Стандарт 802.11b працює на частоті 2,4 ГГц і забезпечує швидкість до 11 Мбіт/с. Стандарт 802.11g також використовує 2,4 ГГц, але зі швидкістю до 54 Мбіт/с. А стандарт 802.11n підтримує як 2,4 ГГц, так і 5 ГГц, і забезпечує швидкість до 600 Мбіт/с в залежності від кількості антен.

Завдяки своїм маленьким розмірам, доступній ціні та великій кількості можливостей, ця плата ідеально підходить для різноманітних проєктів. Вона

зручна для автоматизації, збору даних з сенсорів, управління пристроями та інших задач.

Підключення до комп'ютера здійснюється за допомогою порта microUSB, а вбудований перетворювач USB-UART надає можливість уникнути використання зовнішніх конверторів передачі даних між PC та комп'ютером через USB-порт. Роль самого адаптера між USB і UART виконує один із перетворювачів CH340G або CP2102.

Для подачі живлення можна використовувати два варіанти:

- через самий USB 5 В;
- через вхід на порті 3.3 В.

Також варто зазначити що всі входи працюють тільки з напругою 3.3 В, що зроблено за для зменшення рівня енергоспоживання та зменшення нагріву. Перевищення цієї напруги може пошкодити плату.

Модуль ESP8266 може функціонувати у трьох Wi-Fi режимах:

- STA (Station) режим підключення до вже існуючої мережі як клієнт;
- AP (Access Point) режим при якому модуль створює власну точку Wi-Fi для того щоб інші пристрої могли до неї підключитись;
- STA+AP режим означає що модуль може працювати і як клієнт і як точка доступу.

Це надає можливість налаштування пристрою відповідно до потрібних вимог, надаючи гнучкість у виборі способу підключення, що дозволяє адаптувати систему до заданих умов.

Наявність функції прошивки по повітрю (OTA) дозволяє вносити зміни в програмну частину без фізичного підключення, що сильно спрощує процес оновлення та підтримки системи.

Для програмування пристрою можна використовувати середовище Arduino IDE і програмувати на одній із наступних мов: C, C++, Python та Lua.

WeMos D1 Mini має 11 контактів GPIO (рис. 13), які вразі потреби можна запрограмувати для потрібних функцій і всього один аналоговий вхід (A0). Підтримуються стандартні інтерфейси UART, I2C, SPI, а також можливість

керувати яскравістю (PWM). Плата працює на частоті до 160 МГц, має до 80 КБ оперативної пам'яті та до 4 МБ флеш-пам'яті.

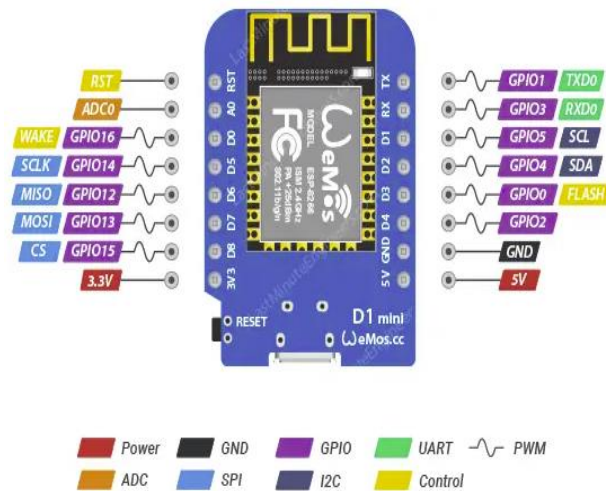


Рисунок 13 — Розпіновка мікроконтролера WeMos D1 Mini

A0 — є єдиним аналоговим входом на платі WeMos D1 Mini, його призначення це зчитування сигналів із аналогових сенсорів. Цей контакт може вимірювати напругу від 0 В до 3,3 В (залежить від наявності вбудованого подільника напруги) .

SCK, MISO, MOSI та CS — це піни через які реалізовується один єдиний апаратний SPI-інтерфейс (HSPI) на WeMos D1 Mini. Цей інтерфейс відповідає за швидкий обмін даними між мікроконтролером та зовнішніми пристроями (екрани, сенсори, модулі зв'язку та карти пам'яті).

Піни SCL та SDA належать до I2C інтерфейсу, вони використовуються для передачі даних між пристроями що підключені до шини I2C. Але через програмне управління «біт-бенгінг» можливо реалізувати інші контакти GPIO як SCL та SDA. I2C інтерфейс зазвичай використовують для підключення пристроїв з низькими вимогами до швидкості.

Лінії TXD0 та RXD0 відповідають за UART (Universal Asynchronous Receiver- Transmitter). UART це універсальний асинхронний приймач— передавач, основна функція якого полягає в забезпеченні двосторонньої

передачі даних за допомогою двох пінів: TX для передачі і RX для прийому даних. Варто зазначити що ці два контакти вже підключені до USB-послідовного перетворювача CH340.

Для живлення WeMos D1 Mini використовуються піни 5V та 3.3V відповідною. При підключенні через USB пін 5V отримує живлення 5 В від порту USB. GND пін використовується як контакт заземлення.

Основним призначенням пінів RST, WAKE та FLASH є керування роботою пристрою та моніторинг його стану. Пін RST призначений для скидання налаштувань. Переведення цього виводу в низький рівень скидає мікроконтролер, що є рівносильним кнопці Reset. Сигнал низького логічного рівня на пині FLASH під час увімкнення модуля WeMos D1 Mini переводить його в режим прошивки. Контакт WAKE використовується для розбудження чипа з режиму глибокого сну (deep-sleep mode).

ШІМ-виводи відповідають за генерування імпульсних сигналів, що дозволяє керувати яскравістю світлодіодів, швидкістю двигунів або інтенсивністю звукових ефектів. Можуть видавати сигнал широтно-імпульсної модуляції всі піни окрім A0, RST, 3V3, 5V та GND. Характеристики WeMos D1 Mini наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Характеристики WeMos D1 Mini

Порти GPIO	11 цифрових виводів (від D0 до D10)
Напруга живлення	5 В (через USB) або 3.3 В (зовнішнє живлення)
Частота процесора	80/160 МГц
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Підключення USB	Micro-USB
Пам'ять	4 МБ флеш-пам'яті
Розміри	34.2 мм x 25.6 мм

Як основний сенсор було обрано сенсор виявлення газу MQ-5, а для впровадження додаткового функціоналу було додано модуль сенсора

мікроклімату BME280.

Серед усіх розглянутих сенсорів газу було обрано сенсор MQ-5 завдяки його високій чутливості до основних горючих газів, таких як метан, пропан, бутан, водень та нафтовий газ. Саме ця характеристика забезпечує ефективне виявлення навіть незначних концентрацій газу.

В результаті у мікропроцесорному детекторі газу буде використано два основні сенсори — газовий сенсор MQ-5, що реагує на наявність горючих газів у повітрі, та модуль BME280, який вимірює температуру, вологість і атмосферний тиск. Звукове оповіщення про перевищення порогового значення концентрації газу реалізується за допомогою пасивного зумера, а візуальна індикація передбачена через світлодіод. Для виведення вимірюваних параметрів та повідомлень використовується LCD1602 дисплей, що підвищує зручність взаємодії користувача з пристроєм. Усі ці компоненти координуються за допомогою плати WeMos D1 Mini, яка оснащена вбудованим Wi-Fi модулем ESP-12F. Завдяки цьому плата надає можливість бездротового передавання даних, для віддаленого моніторингу та надсилання сповіщень.

Модульний сенсор MQ-5 має всього 4 піна. Отримує живлення через пін VCC та живиться від напруги 5 В. Розпіновка сенсора газу MQ-5 зображено на рисунку 14.

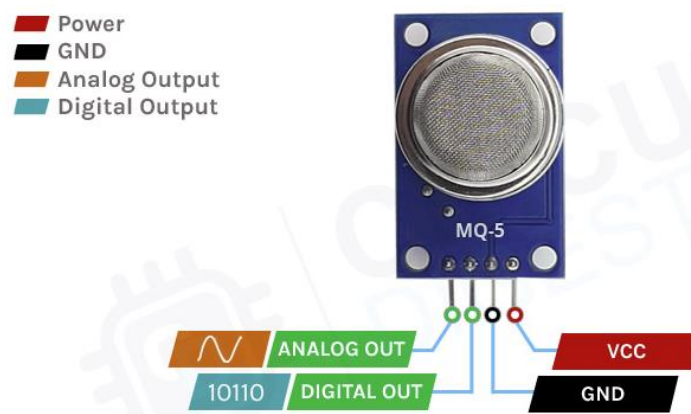


Рисунок 14 — Розпіновка модульного сенсора газу MQ-5

В якості додаткового сенсора був обраний BME280. Це високоточний

метеосенсор від знаменитої компанії BOSCH. Він призначений для вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску [16]. Відносно своїх розмірів цей сенсор має просто колосальні можливості: він вимірює вологість повітря в діапазоні від 0% до 100% з точністю $\pm 3\%$, тиск — від 300 гПа до 1100 гПа з вражаючою точністю $\pm 1\%$, а також температуру — від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $85\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ці та інші характеристики наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2 — Характеристики сенсора BME280

Тип сенсора	Цифровий сенсор температури, вологості та тиску
Інтерфейси	I2C (до 3.4 МГц), SPI (до 10 МГц)
Кількість пінів	4 (VCC, GND, SCL, SDA)
Діапазон температур	Від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$
Точність температури	$\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$
Діапазон вологості	Від 0% до 100 % RH
Точність вологості	$\pm 3\text{ } \% \text{ RH}$
Діапазон тиску	Від 300 гПа до 1100 гПа
Точність тиску	$\pm 1\text{ гПа}$
Напруга живлення	Від 1.8 В до 3.6 В
Споживання струму	$<1\text{ мА}$

Також сенсор підтримує функцію вимірювання висоти в діапазоні від 1 м до 9150 метрів.

Через обширний і точний функціонал його дуже часто використовують системах моніторингу за навколишнім середовищем та метеостанціях.

Під час вимірювань BME280 споживає менше 1 мА, а в режимі очікування близько 5 мкА. Завдяки такому низькому енергоспоживанню його можна ефективно використовувати в пристроях, що працюють від батареї, зокрема в смартфонах, GPS-модулях або наручних годинниках.

Сенсор BME280 підтримує живлення в діапазоні від 1.8 В до 3.6 В, тому він добре підходить для роботи з WeMos D1 Mini. Напругу живлення подається

на пін VDD, а пін GND з'єднується з загальною «землею» пристрою.

Піни SDA (Serial Data) та SCL (Serial Clock) використовуються для комунікації в протоколі I2C (Inter-Integrated Circuit). Протокол I2C дозволяє двом пристроям обмінюватися даними через ці дві лінії: SDA для передачі і SCL для тактового сигналу. Розпіновку сенсора BME280 зображено на рисунку 15.

BME280 об'єднує в одному корпусі три типи сенсорів (для вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску) і мікросхему обробки, що робить його дуже компактним і функціональним рішенням для моніторингу кліматичних параметрів.

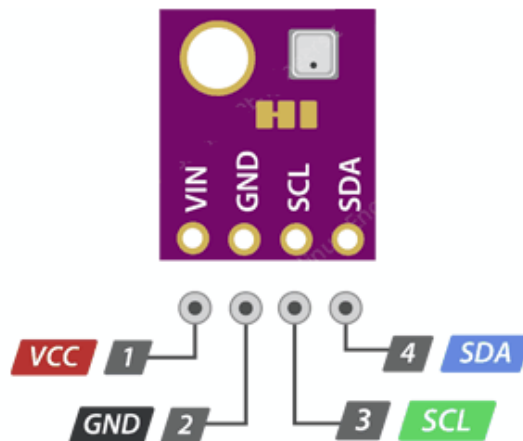


Рисунок 15 — Розпіновка сенсора BME280

Для виведення вимірюваних параметрів та повідомлень буде використаний LCD1602 дисплей, він буде відображати інформацію отриману від підключений сенсорів. Що надасть можливість відстежувати характеристики оточуючого середовища візуально.

У середовищі програмування Arduino IDE для роботи з цим дисплеєм буде використана бібліотека `LiquidCrystal_I2C`.

LCD1602 є аббревіатурою що розшифровується як Liquid Crystal Display (рідкокристалічний дисплей), а 1602 вказує на те що дисплей може відображати тільки два рядки по 16 символів в кожному.

Без використання I2C-модуля LCD1602 має 16 контактів (рис. 16), і його підключення є незручним, оскільки займає в кращому випадку 6 цифрових виходів на основній платі. Це є стає великою проблемою так як плата WeMos D1 Mini має обмежену кількість цифрових виходів.

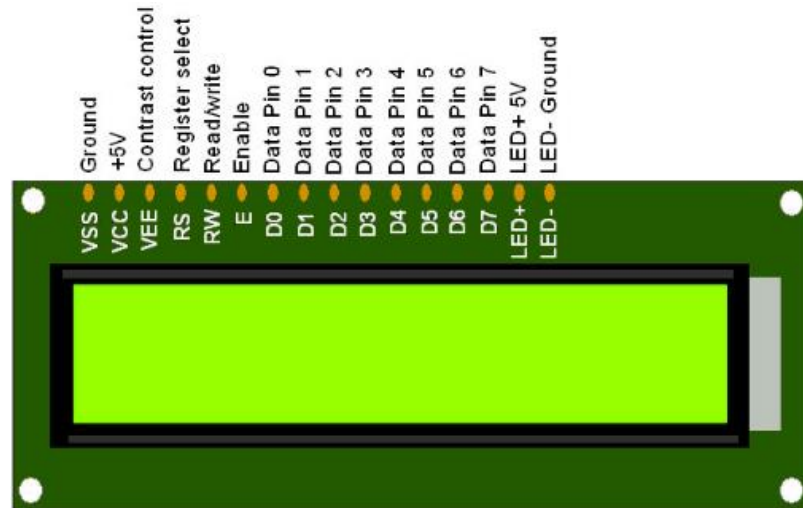


Рисунок 16 — LCD1602 дисплей та його розпіновка

Для зменшення використання цифрових виходів застосовується I2C- адаптер, який дозволяє передавати дані лише через два сигнальні піни (SDA та SCL). Тому після використання I2C-адаптера, для підключення дисплея до плати буде достатньо лише 4 пінів (рис. 17).

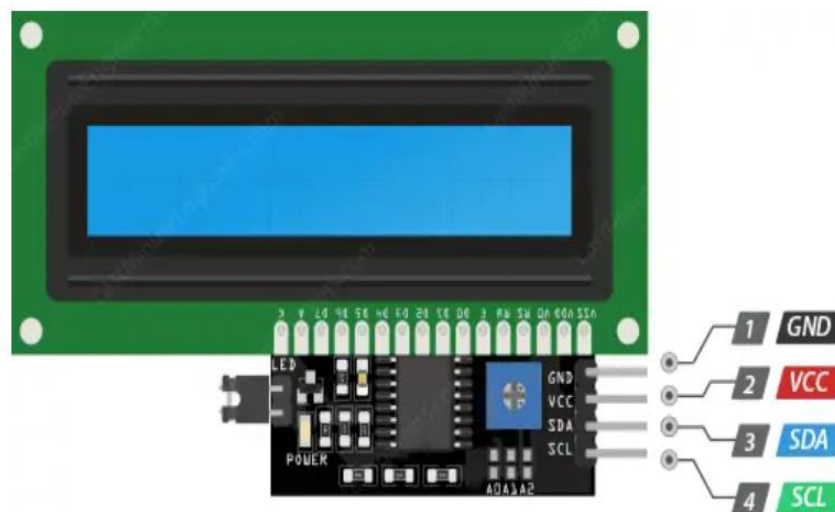


Рисунок 17 — Розпіновка LCD1602 дисплея з I2C модулем

LCD1602 з I2C модулем має лише чотири виводи для підключення: GND, VCC, SDA і SCL. Вивід GND підключається до "землі" мікроконтролера. Вивід VCC відповідає за живлення дисплея та зазвичай підключається до 5V або 3.3V в залежності від сумісності з конкретною платою. Вивід SDA є лінією передачі даних по протоколу I2C, а SCL — лінією такту (синхронізації).

Таблиця 2.3 — Характеристики LCD1602 дисплея із I2C модулем

Тип дисплея	Рідкокристалічний (LCD)
Кількість символів	2 рядки по 16 символів (1602)
Інтерфейс	I2C (через адаптер на чипі PCF8574)
Адреса I2C (типова)	0x27 або 0x3F
Напруга живлення	5 В
Робочий струм	~1 мА (без підсвічування)
Регулювання контрасту	Потенціометр на модулі
Підсвічування	Присутнє, з можливістю керування
Розміри екрану	~80 мм x 36 мм
Пінів для підключення	4 (GND, VCC, SDA, SCL)
Сумісність	Arduino, ESP8266, ESP32, Raspberry Pi та інші
Температурний діапазон	Від -20°C до +70°C

Міні пасивний буюер тривоги або у вигляді готового модуля виконує роль звукового індикатора що согналізує про небезпеку витоку газу (рис. 18). Його перевагою є те що він ідеально підходить для створення мікропроцесорного детектора газу через свої малі габарити. Підключення здійснюється через його єдині три піни (VCC, GND та IN).

Сам пасивний буюер тривоги складається лише з чотирьох компонентів:

- корпус з акустичним отвором;
- три піни (VCC, GND, IN);
- п'єзоелемент.

Корпус пасивного зумера виконує захисну функцію, ізолюючи внутрішні

елементи від механічних пошкоджень та впливу навколишнього середовища. У середині зумера розміщується п'єзоелемент, що є основним акустичним перетворювачем. Пасивний зумер не містить вбудованого генератора частоти, тому для формування звукового сигналу до нього необхідно подавати зовнішній імпульсний сигнал з заданою частотою, як правило, за допомогою мікроконтролера. У відповідь на ці імпульси п'єзоелемент здійснює механічні коливання, які створюють звукову хвилю, що сприймається як писк або тривожний сигнал.



Рисунок 18 — Модуль пасивного бузера

Таблиця 2.4 — Характеристики модуля пасивного зумера тривоги

Тип	Пасивний
Інтерфейс керування	Цифровий
Гучність	Від 85 дБ до 95 дБ
Напруга живлення	Від 3.3 В до 5 В
Споживаний струм	~20 мА
Частота звуку	~2 кГц
Кількість пінів	3 (VCC, GND та IN)
Робоча температура	Від -20 до +70 °C
Метод керування	Зовнішній генератор імпульсів
Розміри модуля	25 мм × 15 мм

Для світлового сповіщувача був обраний світлодіод зі спільним анодом

(рис. 19). Він сигналізує про виявлення газу сенсором MQ-5. Це є багатокольоровий світлодіод в якому усі кристали (червоний, зелений, синій) мають спільний позитивний вивід, тобто анод. Він має чотири ніжки: одну спільну (анод) і три окремі катоди, кожен з яких відповідає за окремий колір — червоний (R), зелений (G) і синій (B). Можна комбінувати кольори, подаючи сигнали на кілька ніжок одночасно, тоді світлодіод буде світитися змішаним кольором. Колір світла залежить від матеріалу, з якого виготовлений самий кристал, оскільки саме він визначає довжину хвилі випромінюваного світла. Червоний колір має довжину хвилі ~ 850 нм, зелений ~ 530 нм та синій ~ 470 нм.



Рисунок 19 — Світлодіод зі спільним анодом

Такий тип світлодіодів часто використовують у різних електронних проектах, індикаторах і декоративному підсвічуванні, бо він дозволяє отримати багато кольорів, керуючи всього трьома сигналами.

Таблиця 2.5 — Характеристики світлодіода зі спільним анодом

Напруга при прямому включенні	Від 3.2 В до 3.8 В
Діаметр корпусу	10 мм
Максимально допустимий струм	75 мА
Світлова інтенсивність	~ 25000 мкд
Кут розсіювання світла	від 20° до 25°
Робочий температурний діапазон	від -25°C до $+85^\circ\text{C}$

Для того щоб реалізувати такі функції, як регулювання порогу

спрацювання для сенсора MQ-5 та зміна режимів відображення на екрані було додано модуль кнопки який складається із тактової кнопки, резистора на 10 кОм та трьох контактів: GND, VCC, OUT (рис. 20). На платі OUT позначається літерою S, VCC — живлення позначається символом “+”, а GND відповідно “—”. Модуль спрощує підключення кнопки до контролера, оскільки вже має вбудований резистор і зручні виводи.

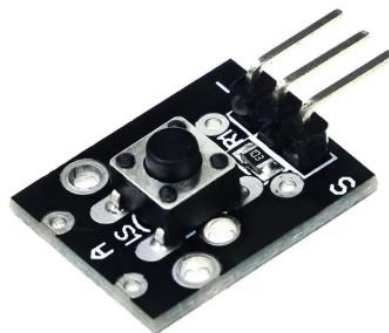


Рисунок 20 — Модуль кнопки KY—004

Принцип роботи досить простий, коли кнопку не натискають, на виході S подається напруга. А коли кнопку натискають, вихід S підключається до землі, і напруги на ньому вже немає. Простіше кажучи, якщо кнопку не тиснути — на виході є сигнал, а якщо натиснути — сигнал зникає.

Таблиця 2.6 — Характеристики модуля кнопки KY— 004

Номінальний діапазон	50 mA, 12 V DC
Опір контактів	Максимум 50 Ом (початковий)
Опір ізоляції	Мінімум 100 MΩ
Діелектрична міцність	AC 250 V (50/60 Гц, 1 хвилина)
Механічний термін служби	100 000 циклів
Температура навколишнього середовища	Від -25 °C до +105 °C
Механічна міцність робочої групи	180/230 (± 20 гс)
Температура теплової деформації	Від 250 °C до -280 °C
Тип кнопки	Механічна

3.3 Розробка електричної схеми детектора газу

У процесі розробки мікропроцесорного детектора газу на початковому етапі для реалізації електричних з'єднань між основними компонентами пристрою використовується макетна плата breadboard (рис. 21). Вона є зручним засобом для тимчасового збирання електронних схем без необхідності пайки, що має свої переваги в тому числі тестування різних варіанти компонування. Електрична схема наведена у додатку В.2.

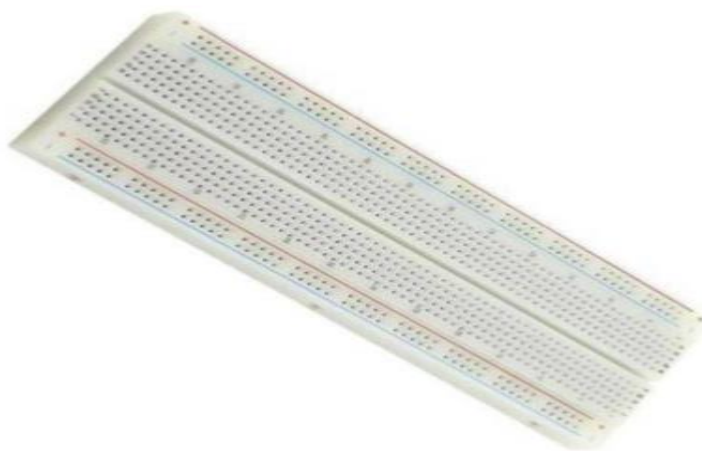


Рисунок 21 — Макетна плата 830

Макетна плата використовується як базова платформа для підключення наступних елементів як мікроконтролер, газовий сенсор MQ-5, світлодіод, бузер, резистори, сенсор для вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску BME280, модульні кнопки та LCD дисплей . Всі елементи розміщуються на платі відповідно до розробленої електричної схеми.

Використання макетної плати на цьому етапі дає змогу швидко перевірити, чи правильно працює обрана схема, протестувати підключення газового сенсора та переконатися, що пристрій працює як треба.

Застосування макетної плати дає такі переваги:

- можливість легко змінювати схему без шкоди для компонентів;
- відсутність потреби у спеціальному обладнанні для пайки;
- візуальна наочність схеми, що полегшує налагодження.

Тому макетна плата є оптимальним рішенням для побудови початкового прототипу мікропроцесорного детектора газу та перевірки його працездатності.

Основним сенсором мікропроцесорного детектора газу є сенсор газу MQ-5. При конструкції буде використане аналогове підключення між платою WeMos D1 Mini та сенсором газу MQ-5 (рис. 22).

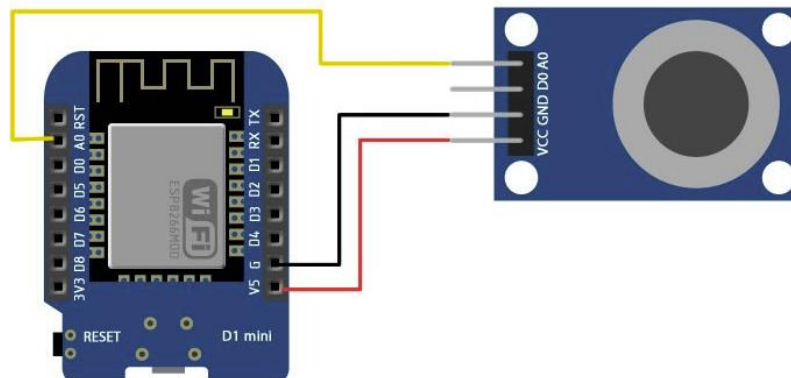


Рисунок 22 — Аналогове підключення MQ-5 до плати WeMos D1 Mini

Так як WeMos D1 Mini — це мікроконтролер на базі ESP8266, який має лише один аналоговий вхід — A0. Саме до нього підключається вихід аналогового сигналу з модуля MQ-5.

Схема підключення досить проста:

- вивід VCC модуля MQ-5 підключається до 5V на WeMos D1 Mini;
- вивід GND підключається до GND плати;
- вивід AO підключається до A0 на WeMos D1 Mini.

Однак, підключення сенсора MQ-5 до плати WeMos D1 Mini буде відбуватись через аналоговий вихід A0, що потребує додаткових резисторів, оскільки напруга на виході MQ-5 може змінюватись в діапазоні від 0 В до 5 В, тоді як аналоговий вхід A0 на ESP8266 підтримує лише напругу до 1.0 В. Більшість ігнорують це обмеження і просто з'єднують аналоговий вихід MQ-5 з входом A0, але таке підключення ненадійне: у кращому випадку напруга буде обрізатися, що призведе до некоректних вимірювань, а в гіршому — є ризик пошкодження мікроконтролера через надмірну напругу. Деякі версії WeMos D1

Mini мають на платі вбудований подільник напруги з номіналами 220 кОм і 100 кОм, який знижує максимальну напругу до 3.3 В, але це все одно не гарантує безпечної роботи, адже MQ-5 може видати повні 5 В при високій концентрації газу. В нормальних умовах (без наявності газу) вихідна напруга MQ-5 зазвичай становить лише від 0.2 В до 1.0 В, але у випадку різкого підвищення рівня газу напруга на виході може зрости до 4В та навіть 5 В, що вже створює серйозну загрозу для ESP8266. Тому для надійної роботи буде використовуватися зовнішній подільник напруги, який знижує рівень сигналу до безпечних ~ 1.0 В.

У даній схемі буде використана схема роздільника напруги з проміжним плечем через опір до землі, де як референтна точка застосовується GND-вивід модуля MQ-5. Така конструкція дозволяє безпечно знизити напругу з аналогового виходу, яка може досягати 5 В, до рівня, прийнятного для аналогового входу A0 мікроконтролера Wemos D1 Mini (до 1 В). Для реалізації цього роздільника застосовуються резистори номіналом 40 кОм (верхнє плече) та 10 кОм (нижнє плече), що забезпечує стабільне і точне зменшення напруги (рис. 23).

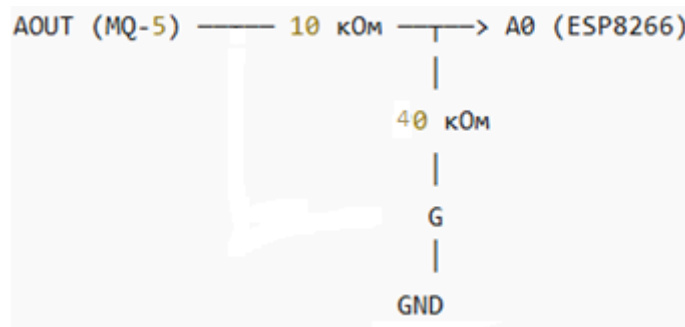


Рисунок 23 — Схема роздільника напруги з проміжним плечем через опір до землі

Сенсор BME280 використовується для одночасного вимірювання температури, відносної вологості та атмосферного тиску. Для його підключення до мікроконтролера через інтерфейс I2C (оскільки він потребує меншої кількості з'єднань) достатньо лише чотирьох пінів (рис. 24).

Живлення сенсор BME280 отримує від виводу 5V плати мікроконтролера WeMos D1 Mini, що забезпечує необхідну напругу для його стабільної та безпечної роботи. Вивід GND підключається до GND на платі. Вивід SCL (тактова лінія) підключається до пін D1 (GPIO5), а вивід SDA (лінія даних) підключається до пін D2 (GPIO4) [17].

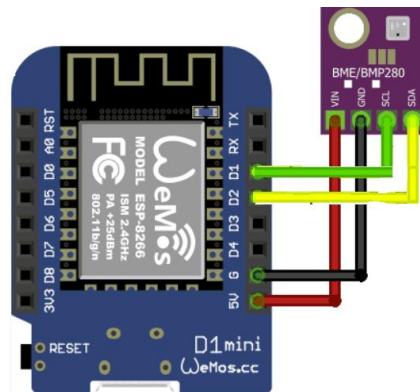


Рисунок 24 — Схема підключення сенсора BME280 до плати WeMos D1 Mini

Для того щоб підключити LCD1602 дисплей із двома рядками по 16 символів до мікроконтролера, використовувати I2C-модуль. Завдяки цьому модулю кількість з'єднань скорочується з 16 до 4, що значно спрощує монтаж та економить виводи мікроконтролера (рис. 25).

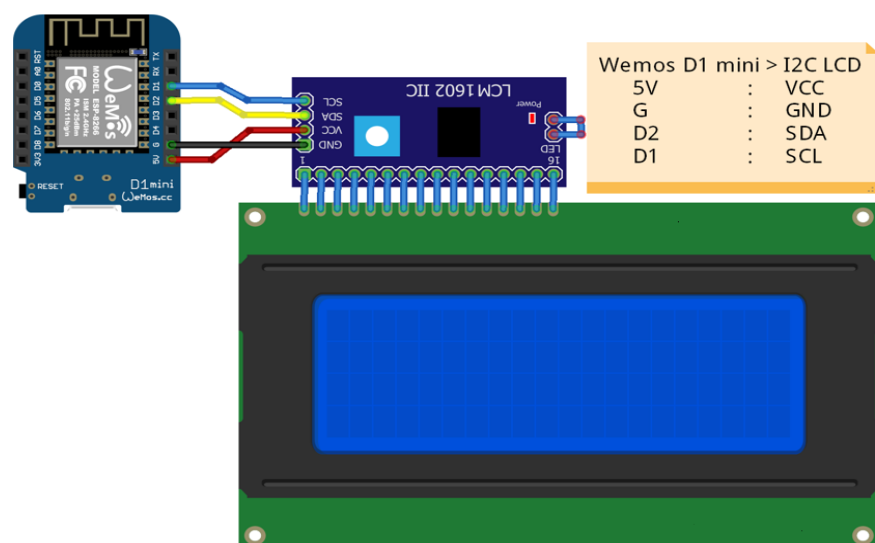


Рисунок 25 — Схема підключення LCD1602 дисплея із I2C модулем до WeMos D1 Mini

LCD1602 відіграє важливу роль як візуальний інтерфейс пристрою. Завдяки йому користувач може в режимі реального часу бачити показники з сенсорів (температура, вологість, рівень газу), повідомлення про стан системи, попередження або інструкції.

Живлення LCD1602 з I2C-модулем здійснюється від напруги 5 В. Завдяки цьому дисплей отримує достатню потужність для роботи підсвічування та стабільного відображення символів. У переважній більшості випадків дисплей добре працює з логічними сигналами 3.3 В від мікроконтролера ESP8266, тому додаткові перетворювачі логічного рівня не потрібні.

Дисплей з I2C-модулем працює через двопровідний інтерфейс, що використовує лише лінії SDA та SCL. Це дозволяє одночасно підключити кілька пристроїв до однієї шини I2C, наприклад, разом із сенсором BME280. Дисплей з I2C-модулем працює через двопровідний інтерфейс, що використовує лише лінії SDA та SCL. Це дозволяє одночасно підключити кілька пристроїв до однієї шини I2C, наприклад, разом із сенсором BME280. Тому підключення SDA під'єднуємо до виводу D2 на платі WeMos D1 Mini, який відповідає за передачу даних по інтерфейсу I2C між мікроконтролером та дисплеєм.

Підключення SCL під'єднується до виводу D1 на платі WeMos D1 Mini. Цей контакт відповідає за передачу сигналів, які синхронізують обмін даними між мікроконтролером і дисплеєм.

Підключення світлодіоду зі спільним анодом буде відбуватись через три резистори (на кожен колір по одному резисторі). Резистори потрібні для того щоб обмежити струм через світлодіод і не спалити світлодіод та контролер (як додатковий захист). Будуть використовуватись 3 резистори по 100 Ом кожен, цього цілком вистачить для забезпечення захисту.

Використовується світлодіод із спільним анодом який має чотири “ніжки”, один із них загальний анод або просто плюс, а решта три — це катоди (мінуси) кожен з яких відповідає певному кольору R, G, B (рис. 26) [18].

Для підключення багатоколірного (RGB) світлодіода з загальним анодом до плати, використовуються три цифрові виходи, кожен з яких відповідає за

окремий колір. Синій колір підключається до піна D4, зелений — до D7, а червоний — до D0. Загальний анод підключається до піна 3V3 на платі.

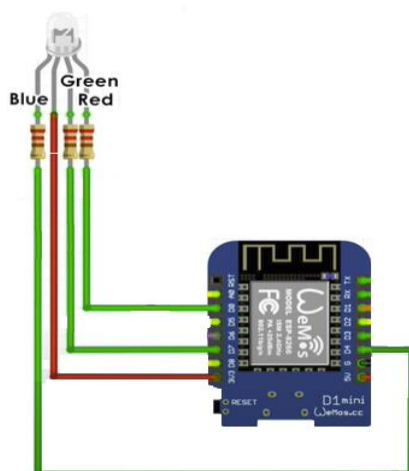


Рисунок 26 — Підключення світлодіоду зі спільним анодом до WeMos D1 Mini

Для реалізації звукового сповіщення у мікропроцесорному детекторі газу використовується модуль пасивного буюера з трьома виводами.

Підключення модуля пасивного зумера до WeMos D1 Mini зображене на рисунку 27.

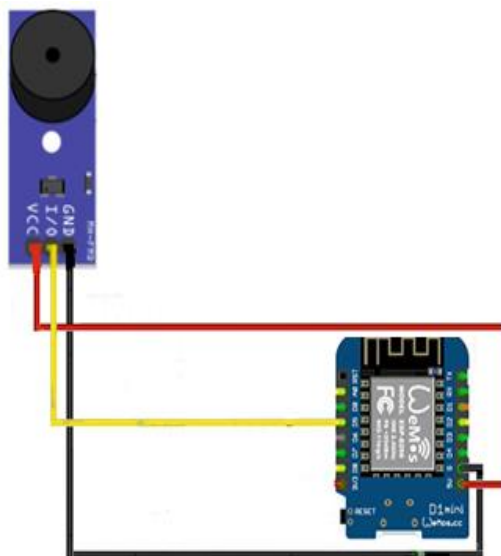


Рисунок 27 — Підключення модуля пасивного буюера до WeMos D1 Mini

Такий модуль містить сам пасивний бузер та елементарну схему керування, що дозволяє подавати керуючий сигнал безпосередньо з мікроконтролера. Модуль має три виводи: VCC, який підключається до лінії живлення 5 В; GND, що з'єднується із загальною землею мікроконтролера; та SIG (або IN/I/O), який використовується для подачі керуючого логічного сигналу. У даній конструкції вивід SIG підключається до цифрового піна D5 плати WeMos D1 Mini. Така конфігурація забезпечує можливість генерування звуку з різною частотою за допомогою ШІМ-сигналів.

3.4 Створення програмної частини детектора газу у середовищі Arduino Ide

Для розробки програмної частини мікропроцесорного детектора газу з функцією оповіщення в месенджер було використано середовище Arduino IDE. Ця платформа має зручне середовище для написання, компіляції та завантаження коду на мікроконтролери, зокрема на плату WeMos D1 Mini. Написання коду здійснювалось на мові C++, яка є основною для Arduino та надає можливість для створення зрозумілого та ефективного коду для керування роботою апаратних компонентів.

Так як WeMos D1 Mini побудована на базі мікроконтролера ESP8266 яка відсутня у стандартному наборі плат Arduino IDE, першим кроком є необхідність додати її до середовища. Для цього потрібно в вікні налаштування вказати адресу яка вказує на інтернет-ресурс, що містить метадані про платформи базовані на ESP8266 (рис. 28) [19].



Рисунок 28 — Додавання URL для встановлення плати ESP8266

Після додавання цієї адреси Arduino IDE отримує можливість завантажити і встановити спеціальний пакет підтримки мікроконтролерів ESP8266.

Для встановлення цього пакету потрібно у вікні «Менеджер плат», що знаходиться у меню «Інструменти», у полі пошуку ввести «ESP8266» та встановити пакет «ESP8266 за ESP8266 Community» (рис. 29).

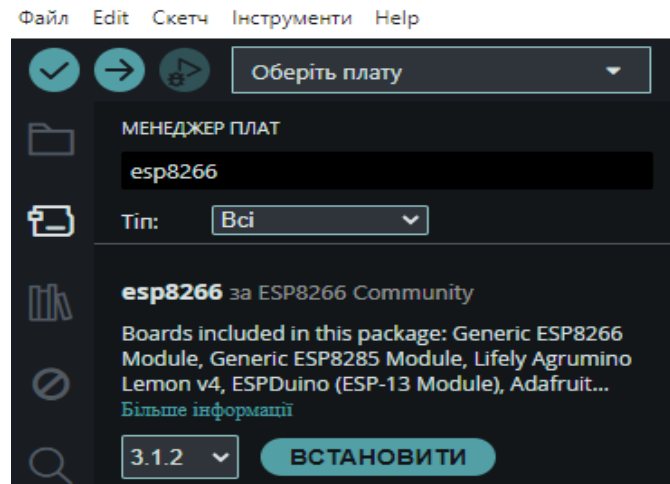


Рисунок 29 — Встановлення пакет підтримки мікроконтролерів ESP8266.

Після встановлення підтримки ESP8266 у Менеджері плат, в списку плат з'явиться новий розділ із доступними мікроконтролерами на базі ESP8266. Серед них потрібно обрати "WeMos D1 R2 & mini".

Після вибору цієї плати Arduino IDE буде знати, які параметри компіляції застосовувати, як працювати з пам'яттю, портами введення та виведення.

Перед написанням коду потрібно встановити бібліотеки, які будуть забезпечувати роботу всіх підключених модулів пристрою. Для цього в Менеджері бібліотек ввести назви потрібних нам бібліотек та натиснути "Встановити". Список всіх бібліотек які будуть використані наведено в лістингу 3.1.

Лістинг 3.1 — Список використаних бібліотек

```
#include <Wire.h>
#include <EEPROM.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
```

```
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <OneButton.h>
```

Наступним етапом є налаштування мережевого з'єднання, необхідного для забезпечення доступу до Wi-Fi мережі та подальшої взаємодії з Telegram-ботом. Для цього на початку програми оголошуються змінні, у що зберігають параметри доступу до бездротової мережі: WIFI_SSID — ідентифікатор мережі (назва точки доступу), а WIFI_PASSWORD — пароль автентифікації (лістинг 3.2). Ці дані використовуються мікроконтролером для встановлення стабільного з'єднання з маршрутизатором та виходу в Інтернет.

Завдяки цим значенням мікроконтролер WeMos D1 Mini може встановити з'єднання з Інтернетом через Wi-Fi роутер. Так як обмін повідомленнями з користувачем здійснюється через Telegram, необхідно також вказати унікальний BOT_TOKEN, який дозволяє пристрою взаємодіяти з API Telegram як окремий бот. Крім того, задається CHAT_ID — цифровий ідентифікатор користувача.

Лістинг 3.2 — Налаштування мережевого з'єднання до Wi-Fi та Telegram-бота

```
#define WIFI_SSID "GGG" // Ім'я Wi-Fi мережі
#define WIFI_PASSWORD "miner2288" // Пароль від Wi-Fi мережі
#define BOT_TOKEN "7893239861:AAGclhkOHRyNgg9IR1-
jztGtcSiZ3vervAo" // Токен Telegram-бота
#define CHAT_ID "646701047" // CHAT_ID у Telegram
```

Наступна частина — це визначення пінів підключення усіх компонентів до плати мікроконтролера за допомогою директив #define (лістинг 3.3). Ці директиви дозволяють задати зрозумілі імена для кожного підключеного елемента та визначити, до яких пінів підключені основні компоненти.

Лістинг 3.3 — Ініціалізація пінів мікроконтролера

```
#define pinBTN_1 3 // (Rx) Ліва кнопка
#define pinBTN_2 0 // (D3) Центральна кнопка
```

```
#define pinBTN_3 1 // (Tx) Права кнопка
#define pinLED_R 16 // (D0) Червоний світлодіод
#define pinLED_G 13 // (D7) Зелений світлодіод
#define pinLED_B 2 // (D4) Синій світлодіод
#define pinBuzzer 14 // (D6) Бузер
#define pinBacklight 12 // (D5) Керування підсвічуванням дисплея
#define pinMQ A0 // (A0) MQ-5
```

У програмному коді газового детектора реалізовано велику кількість функцій, кожна з яких відповідає за конкретний блок роботи пристрою. Усі функції умовно можна поділити на наступні категорій: системні, обробка сенсорів, керування дисплеєм, керування сигналізацією, взаємодія з користувачем через кнопки та Telegram-бота, а також збереження налаштувань у пам'яті.

До системних функцій належать `setup()` та `loop()`. Функція `setup()` викликається один раз при ввімкненні або перезавантаженні пристрою та виконує ініціалізацію : налаштовує підключення до Wi-Fi, ініціалізує дисплей, сенсори MQ-5 і BME280, завантажує параметр з EEPROM тобто поріг спрацювання газового сенсора, а також готує пін GPIO для роботи з бузером, світлодіодами та кнопками.

Основна логіка пристрою зосереджена в циклі `loop()`, який відповідає за безперервне зчитування даних із сенсорів, обробка натискання кнопок, оновлення стану дисплея, контроль режиму тривоги та зв'язок із Telegram-ботом (лістинг 3.4).

Лістинг 3.4 — Функція `loop()`

```
void loop() {
  Button();
  Sensor();
  Display();
}
```

Функція `Button()` у цьому коді виконує обробку натискань трьох кнопок. Вона має дуже просту структуру та викликається регулярно у циклі `loop()` (лістинг 3.5). Вона викликає метод `tick()` для кожного з об'єктів: `button1`,

button2, button3. Кожен об'єкт представляє одну з трьох фізичних кнопок, підключених до плати.

Лістинг 3.5 — Функція Button()

```
void Button() {
    button1.tick();
    button2.tick();
    button3.tick();
}
```

Відповідальною за реалізацію періодичного зчитування показників навколишнього середовища, таких як температура, вологість, атмосферний тиск та рівень газу в повітрі є функція Sensor() (лісинг 3.6).

На початку функції перевіряється, чи пройшов заданий час із моменту останнього зчитування, перевірка відбувається через конструкцію `if (millis() - timeUpdate > lastTime)`. Якщо умова виконується, ініціалізується сенсор BME280 через `bme.begin(0x76)` і після ініціалізації послідовно зчитуються данні які вимірює цей сенсор. Наступною відбувається обробка показників із газового сенсора MQ-5. Спочатку зчитується аналогове значення (`analogRead(pinMQ)`), яке потім перевіряється: якщо воно менше за 30, йому присвоюється мінімальне допустиме значення 30, це зроблено щоб уникнути нестабільних даних при дуже низьких показниках. Після цього значення масштабується до діапазону 0 — 10000, що дозволяє отримати більш зручну шкалу рівня газу у повітрі. І в кінці змінна `lastTime` оновлюється до поточного часу `millis()`, щоб забезпечити правильний відлік до наступного вимірювання.

Лістинг 3.6 — Функція Sensor ()

```
void Sensor()
{
    if (millis() - timeUpdate > lastTime) {
        bme.begin(0x76);
        Temperature = bme.readTemperature();
        Humidity = bme.readHumidity();
        Pressure = bme.readPressure() / 100.0F;
        int rawValue = analogRead(pinMQ);
    }
```

```

if (rawValue < 30) rawValue = 30;
MQvalue = map(rawValue, 30, 1024, 0, 10000);

    lastTime = millis();
}
}

```

За логіку виведення інформації на дисплей в залежності від поточного стану системи та обраного режиму перегляду відповідає функція `Display()` (лістинг 3.7). Вона динамічно змінює вміст екрана відповідно до вхідних параметрів, таких як рівень газу, значення сенсорів BME280, а також передбачає перехід у режим налаштувань.

Якщо значення змінної `screen` дорівнює або перевищує 10, активується режим налаштування параметрів, зокрема викликається функція `SettingMQvalues()`, яка дозволяє користувачеві змінити пороговий рівень спрацювання газового сенсора. У звичайному режимі, якщо рівень газу, зчитаний із сенсора (`MQvalue`), перевищує встановлений поріг (`MQalarm`), вмикається аварійна сигналізація за допомогою функції `Alarm()`. Якщо ж ситуація стабільна і рівень газу в межах норми, виконується функція `Normal()`, після чого виводиться конкретна інформація залежно від значення змінної `screen`: у режимі 1 показується рівень газу (`DisplayGasLevel()`), у режимі 2 — температура (`DisplayTemperature()`), у режимі 3 — вологість (`DisplayHumidity()`), у режимі 4 — тиск (`DisplayPressure()`), а в режимі 5 — всі параметри одночасно (`DisplayAllParametrs()`). Наприкінці викликається функція `Telegram()`, яка забезпечує передачу даних користувачеві через месенджер.

Лістинг 3.7 — Функція `Display ()`

```

void Display() {
    if (screen >= 10) {
        switch (screen) {
            case 10: SettingMQvalues(); break;
        }
    } else if (MQvalue >= MQalarm) {
        Alarm();
    } else {

```

```

Normal();
switch (screen) {
    case 1: DisplayGasLevel(); break;
    case 2: DisplayTemperature(); break;
    case 3: DisplayHumidity(); break;
    case 4: DisplayPressure(); break;
    case 5: DisplayAllParametrs(); break;
}
Telegram();
}
}

```

Функція `Beep()` відповідає за генерацію звукового сигналу на бузері (лістинг 3.8). Вона складається із двох параметрів, а саме `duration` (тривалість звуку в мілісекундах) та `frequency` (частота звуку в герцах). Команда `tone(pinBuzzer, frequency)` подає сигнал заданої частоти, а `noTone(pinBuzzer)` — вимикає звук. Це дозволяє створювати короткі звукові сигнали.

Лістинг 3.8 — Функція `Beep()`

```

void Beep(int duration = 500, int frequency = 2000) {
    tone(pinBuzzer, frequency);
    delay(duration);
    noTone(pinBuzzer);
}

```

Функція `Alarm()` відповідає за реакцію системи при виявленні небезпечної концентрації газу (лістинг 3.9). При її виклику дисплей очищується та виводиться попередження про високий рівень газу разом із поточним значенням. Для візуального сповіщення активується червоний світлодіод, а звуковий сигнал подається за допомогою функції `Beep()`. Якщо спрацював прапорець `alarmFlag`, до користувача надсилається повідомлення через Telegram-бота із відповідним попередженням про перевищення допустимої норми. Після цього `alarmFlag` скидається, а `normalFlag` активується для подальшої логіки роботи системи.

Лістинг 3.9 — Функція `Alarm()`

```

void Alarm() {
    lcd.clear();
}

```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("High level of gas!");
lcd.setCursor(1, 1);
lcd.print(MQvalue);
lcd.print("ppm");
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(MQalarm);
redLED();
Beep();
if (alarmFlag) {
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "<b>Увага:</b>\nЗафіксовано перевищення
допустимого рівня газу", "html");
    alarmFlag = false;
    normalFlag = true;
} else {
    delay(500);
}
digitalWrite(pinBacklight, LOW);
}

```

Функція `Normal()` використовується для відображення значень у нормальному режиму роботи пристрою, тобто коли рівень газу не перевищує норму (лістинг 3.10). Вона встановлює яскравість підсвічування дисплея відповідно до заданого рівня, вимикає звукову сигналізацію та активує зелений індикатор, що візуально підтверджує безпечний стан. Якщо система вийшла зі стану тривоги і рівень газу в нормі, користувачу надсилається повідомлення через Telegram-бота з підтвердженням стабільної ситуації. Додатково активується автопрокрутка інформації на дисплеї, а також перевіряється, чи настав час для чергового звернення до Telegram. У разі потреби функція також може виконати перезапуск модуля для відновлення роботи у штатному режимі.

Лістинг 3.10 — Функція `Normal()`

```

void Normal() {
    analogWrite(pinBacklight, map(backlightLevel, 0, 14, 0, 1024));
    digitalWrite(pinBuzzer, LOW);
    greenLED();
    if (normalFlag) {
        bot.sendMessageWithInlineKeyboard(CHAT_ID, "✔ Рівень газу в
нормі", "", inlineKey);
    }
}

```

```

    normalFlag = false;
}
alarmFlag = true;
autoScroll();
if (millis() > lastTimeTelegram) telegramFlag = true;
if (resetFlag) ESP.reset();
}

```

Функція `DisplayGasLevel()` відповідає за виведення на екран актуального рівня газу, але робить це тоді коли відбулась зміна більше ніж на 30 одиниць (лістинг 3.11). Це зроблено щоб уникнути мерехтіння і зменшити навантаження на контролер. Коли екран очищується, на ньому виводиться нове значення газу у верхньому та нижньому рядках дисплея. Після оновлення значення, змінна `lastValueMQ` оновлюється, щоб у подальшому уникати повторного виведення тих самих даних.

Лістинг 3.11 — Функція `DisplayGasLevel()`

```

void DisplayGasLevel() {
    if (abs(MQvalue - lastValueMQ) > 30) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Gas level:");
        lcd.setCursor(1, 1);
        lcd.print(MQvalue);
        lcd.setCursor(12, 1);
        lcd.print(MQalarm);
        lastValueMQ = MQvalue;
    }
}

```

Функція `DisplayTemperature()` виводить на дисплей актуальне значення температури, отриманого від сенсора мікроклімату (лістинг 3.12).

Лістинг 3.12 — Функція `DisplayTemperature()`

```

void DisplayTemperature() {
    if (Temperature != lastValueTemperature) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Temperature:");
    }
}

```

```

    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print(Temperature, 1);
    lcd.write(byte(1));
    lcd.print("C");
    lastValueTemperature = Temperature;
}
}

```

Функція DisplayHumidity() відповідає за відображення рівня вологості повітря на дисплеї та виконує оновлення екрану, коли значення вологості змінилося (лістинг 3.13).

Лістинг 3.13 — Функція DisplayHumidity()

```

void DisplayHumidity() {
    if (Humidity != lastValueHumidity) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Humidity:");
        lcd.setCursor(1, 1);
        lcd.print(Humidity, 1);
        lcd.print("%");
        lastValueHumidity = Humidity;
    }
}

```

Функція DisplayPressure() по такому ж самому принципу як і попередні функції, виводить значення тиску у міліметрах ртутного стовпчика, це зроблено шляхом множення на коефіцієнт 0.750062 (лістинг 3.14).

Лістинг 3.14 — Функція DisplayPressure()

```

Void DisplayPressure() {
    if (Pressure != lastValuePressure) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("Pressure:");
        lcd.setCursor(1, 1);
        lcd.print(Pressure * 0.750062, 0);
        lcd.print("mmHg");
        lastValuePressure = Pressure;
    }
}

```

Функція `DisplayAllParams()` об'єднує логіку попередніх чотирьох функцій (лістинг 3.15). Основна функція це виведення на дисплей усіх ключових параметрів навколишнього середовища — температури, вологості, атмосферного тиску та рівня газу. Після очищення екрана, у першому рядку виводяться температура (позначена як T) з одним десятковим знаком та символом градуса, а також вологість (H) у відсотках. Другий рядок відображає атмосферний тиск (P), переведений у міліметри ртутного стовпа, та рівень газу (G) у ppm. Цей формат зручний для перегляду всіх показників одночасно на екрані пристрою.

Лістинг 3.15 — Функція `DisplayAllParams()`

```
void DisplayAllParams() {
  if (millis() - timeUdate > lastTimeAll) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("T:");
    lcd.print(Temperature, 1);
    lcd.write(byte(1));
    lcd.setCursor(8, 0);
    lcd.print("H:");
    lcd.print(Humidity, 1);
    lcd.print("%");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("P:");
    lcd.print(Pressure * 0.750062, 0);
    lcd.print("mm");
    lcd.setCursor(8, 1);
    lcd.print("G:");
    lcd.print(MQvalue);
    lastTimeAll = millis();
  }
}
```

За роботу з Telegram відповідають декілька окремих функцій. Одна з них це функція `Telegram()` (лістинг 3.16). Вона реалізовує періодичну перевірку наявності нових команд від користувача з урахуванням заданого інтервалу часу.

Якщо виявлено нові повідомлення, вони обробляються за допомогою

функції `handleNewMessages()`. Завдяки цьому користувач має змогу керувати пристроєм віддалено через Telegram, отримувати повідомлення про стан системи або надсилати команди для активації певних функцій.

Лістинг 3.16 — Функція `Telegram()`

```
void Telegram() {
    if (millis() - bot_lasttime > BOT_MTBS && telegramFlag) {
        int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
        while (numNewMessages) {
            handleNewMessages(numNewMessages);
            numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);
        }
        bot_lasttime = millis();
    }
}
```

Функція `handleNewMessages(int numNewMessages)` обробляє нові повідомлення отримані від Telegram-бота (лістинг 3.17). Вона перебирає кожне повідомлення, визначає його вміст і, залежно від тексту команди, виконує відповідну дію. Якщо повідомлення надходить від дозволеного користувача (перевіряється за `CHAT_ID`), функція реагує на команди: `/status`, `/chatid`, `/bip`, `/reset` та `/start`.

Якщо повідомлення надійшло від невідомого користувача, команда `/start` просто надсилає привітання та повідомляє його `CHAT_ID`. Таким чином функція забезпечує керування пристроєм через Telegram-бота, виконуючи відповідні дії на запити користувача.

Лістинг 3.17 — Функція `handleNewMessages ()`

```
void handleNewMessages(int numNewMessages) {
    for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
        String text = bot.messages[i].text;
        String chat_id = bot.messages[i].chat_id;
        String from_name = bot.messages[i].from_name;
        if (from_name == "") from_name = "Гость";

        if (chat_id == CHAT_ID) {
            boolean flagCommand = true;
```

```

if (text == "/status") {
    flagCommand = false;
    String statusMessage = "<b>Поточні значення сенсорів:</b>\nРівень
газу: ";
    statusMessage += MQvalue;
    statusMessage += "\nТемпература: ";
    statusMessage += Temperature;
    statusMessage += " °C\n";
    statusMessage += "Вологість: ";
    statusMessage += Humidity;
    statusMessage += " %\n";
    statusMessage += "Тиск: ";
    statusMessage += abs(Pressure * 0.750062);
    statusMessage += " мм рт.ст.\n";

    bot.sendMessageWithInlineKeyboard(CHAT_ID, statusMessage, "html",
inlineKey);
}
if (text == "/chatid") {
    flagCommand = false;
    bot.sendMessage(chat_id, "CHAT_ID: " + chat_id, "");
}
if (text == "/bip") {
    flagCommand = false;
    digitalWrite(pinBuzzer, HIGH);
    bot.sendMessage(chat_id, "✓ Команду \"/bip\" виконано", "html");
    digitalWrite(pinBuzzer, LOW);
}
if (text == "/reset") {
    flagCommand = false;
    bot.sendMessage(chat_id, "✓ Початок перезавантаження", "");
    resetFlag = true;
}
if (text == "/start" || flagCommand) {
    if (text != "/start") bot.sendMessage(chat_id, "Команда <b>\n" + text +
"\n</b> не знайдена", "html");
    String startMessage = "<b>Список доступних команд:</b>\n";
    startMessage += "/status : Значення сенсорів\n";
    startMessage += "/bip : Короткий сигнал зуммера\n";
    startMessage += "/chatid : Дізнатись CHAT_ID\n";
    startMessage += "/reset : Виконати перезавантаження\n";
    bot.sendMessage(chat_id, startMessage, "html");
}
} else {

```

```

if (text == "/start") {
    String startMessage = "Привіт, " + from_name + ".\n";
    startMessage += "Ось твій <b>CHAT_ID</b>: " + chat_id + "\n";
    bot.sendMessage(chat_id, startMessage, "html");
}
}
}
}

```

Функція `stopTelegram()` використовується для тимчасового вимкнення взаємодії з Telegram-ботом (лістинг 3.18). Вона скидає блокує подальшу перевірку нових повідомлень та фіксує час коли була зупинена перевірка повідомлень. Це дозволяє керувати перервами у роботі бота, щоб уникнути великої кількості запитів.

Лістинг 3.18 — Функція `stopTelegram()`

```

void stopTelegram() {
    lastTimeTelegram = millis() + 10000;
    telegramFlag = false;
}

```

Функція `SettingMQvalues()` відповідає за виведення на дисплей поточного порогового значення концентрації газу, при перевищенні якого спрацьовує сигнал тривоги (лістинг 3.19).

Лістинг 3.19 — Функція `SettingMQvalues()`

```

void SettingMQvalues() {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Gas Alarm value:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(" <");
    lcd.print(MQalarm);
    lcd.print(">      ");
}

```

Короткі натискання на кнопки, викликають функції `click1()`, `click2()`, `click3()`, а тривале утримання — `longPressStart1()`, `longPressStart2()`, `longPressStart3()`. За допомогою кнопок можна перемикаати екрани на дисплеї та

відкривати меню налаштувань.

Функція `click1()` реагує на натискання першої кнопки та виконує дві основні дії (лістинг 3.20). Перша збільшує порогового значення концентрації газу на 100 одиниць, при цьому значення не може перевищувати 9000 ppm. Друга дія відповідає за перемикання між сторінками інтерфейсу, що забезпечує навігацію в системному меню пристрою.

Лістинг 3.20 — Функція `click1()`

```
void click1() {
    stopTelegram();
    if (screen == 10) {
        MQalarm = MQalarm + 100;
        if (MQalarm > 9000) MQalarm = 9000;
        eepromMQ = MQalarm;
    } else {
        if (autoScrollFlag) {
            autoScrollOff();
        } else {
            screen++;
            checkScreen();
        }
    }
}
```

Функція `click2()` реагує на натискання другої кнопки та виконує дві основні дії (лістинг 3.21). Якщо активний один із екранів меню налаштувань, функція переходить до наступного пункту меню з циклічним поверненням до початку. У цей момент зберігаються оновлені значення порогового рівня газу та рівня підсвічування в пам'ять EEPROM. Якщо активний інший екран, виконується перехід на екран загального перегляду параметрів, а автоматична прокрутка вимикається.

Лістинг 3.21 — Функція `click2()`

```
void click2() {
    stopTelegram();
    if (screen >= 10) {
        screen++;
        if (screen > 10) screen = 1;
    }
```

```

EEPROM.begin(10);
EEPROM_write(0, eepromMQ);
EEPROM_write(4, eepromBacklight);
EEPROM.end();
lastValueMQ = 0;
lastTime = 0;
} else {
    screen = 5;
    lastTimeAll = 0;
    autoScrollFlag = false;
}
}

```

Функція `click3()` реагує на натискання третьої кнопки та виконує дві основні дії (лістинг 3.22). Перша — зменшує порогове значення концентрації газу на 100 одиниць, при цьому не дозволяючи опуститися нижче 250 ppm. Друга дія відповідає за перемикання між сторінками інтерфейсу в зворотному напрямку або вимикання автоматичної прокрутки, якщо вона активна.

Лістинг 3.22 — Функція `click3()`

```

void click3() {
    stopTelegram();
    if (screen == 10) {
        MQalarm = MQalarm - 100;
        if (MQalarm < 250) MQalarm = 250;
        eepromMQ = MQalarm;
    } else {
        if (autoScrollFlag) {
            autoScrollOff();
        } else {
            screen--;
            checkScreen();
        }
    }
}

```

Функція `longPressStart1()` обробляє довге натискання першої кнопки (лістинг 3.23). Якщо активний екран налаштувань порогового рівня газу, функція одразу встановлює максимальне значення в 9000 ppm. В іншому випадку вмикається автоматичне прокручування інформаційних екранів, що

дозволяє зручно переглядати дані без ручного перемикання.

Лістинг 3.23 — longPressStart1()

```
void longPressStart1() {
  stopTelegram();
  if (screen == 10) {
    MQalarm = 9000;
    eepromMQ = MQalarm;
  } else {
    autoScrollOn();
  }
}
```

Функція longPressStart2() виконується при тривалому натисканні другої кнопки (лістинг 3.24). Вона тимчасово припиняє надсилання повідомлень у Telegram, встановлює яскравість підсвітки відповідно до поточного рівня, вмикає синій світлодіод та скидає змінні lastValueMQ та lastTime для оновлення даних.

Лістинг 3.24 — longPressStart2()

```
void longPressStart2() {
  stopTelegram();
  analogWrite(pinBacklight, map(backlightLevel, 0, 14, 0, 1024));
  blueLED();
  screen = 10;
  lastValueMQ = 0;
  lastTime = 0;
}
```

Функція longPressStart3() виконується при тривалому натисканні третьої кнопки (лістинг 3.25). Також вона встановлює мінімальне значення тривоги (250 ppm).

Лістинг 3.25 — longPressStart3()

```
void longPressStart3() {
  stopTelegram();
  if (screen == 10) {
    MQalarm = 250;
    eepromMQ = MQalarm;
  }
}
```

```

    } else {
        autoScrollOn();
    }
}

```

Функції `autoScroll()`, `autoScrollOn()` та `autoScrollOff()` відповідають за керування режимом автоматичного прокручування інформаційних екранів на LCD-дисплеї.

Функція `autoScroll()` виконує циклічне перемикання між екранами з інтервалом у 2 секунди.

Функція `autoScrollOn()` вмикає цей режим, повідомляючи користувача на дисплеї повідомленням "Scroll Mode On", тоді як `autoScrollOff()` вимикає автоперемикання і виводить повідомлення "Scroll Mode Off".

Функції `redLED()`, `greenLED()`, `blueLED()` та `LEDOff()` реалізують програмне керування RGB-світлодіодом, підключеним до мікроконтролера. Кожна з функцій відповідає за встановлення певного кольору шляхом подачі сигналу на відповідні виводи. Зокрема, функція `redLED()` активує лише червоний канал, деактивуючи зелений і синій; `greenLED()` вмикає зелений колір, вимикаючи червоний і синій; `blueLED()` забезпечує активацію лише синього каналу. Функція `LEDOff()` вимикає всі три кольори, повністю гасить RGB-світлодіод. Усі дії виконуються шляхом встановлення логічного рівня на виводах, до яких підключені відповідні канали світлодіода.

3.5 Розробка Telegram-бота

Для реалізації ідеї сповіщення в месенджер Telegram буде використаний BotFather (рис. 30). BotFather — це вбудований сервіс в месенджері Telegram через який відбувається реєстрація всіх користувацьких ботів, тобто це бот який надає можливість створення та керування ботами, які створив користувач. Щоб створити бота для початку потрібно його знайти, тому у полі пошуку потрібно ввести `@BotFather` і обрати офіційного бота з галочкою. Після цього потрібно розпочати діалог з команди `/start`, яка активує головне меню всіх команд. В

переліку команд обираємо команду `/newbot` і вводимо унікальне ім'я бота та придумуємо username, який має обов'язково закінчуватись на `bot`.



Рисунок 30 — Telegram сервіс BotFather

Після виконання всіх попередніх «кроків» буде створено бота і BotFather надішле повідомлення з токеном доступу (API Token) [20]. Саме токен доступу є ключем, який дозволяє керувати ботом через програмний код. Цей токен потрібен для автентифікації ESP8266 при підключенні до Telegram-бота через Telegram API. Після того, як буде використаний токен, на створений бот при використанні команди `/start`, прийде повідомлення з Chat_ID. В свою чергу Chat_ID використовується для точного визначення адресата при обміні повідомленнями і дозволяє бот-сервісу надсилати повідомлення певному користувачу.

Для забезпечення обміну повідомленнями між мікроконтролером і Telegram ботом використовується бібліотека UniversalTelegramBot, яка реалізує функціональний інтерфейс для обробки вхідних і вихідних повідомлень. Варто згадати про використання бібліотеки ESP8266WiFi.h що відповідає за встановлення бездротового з'єднання та керування мережею Wi-Fi на мікроконтролері ESP8266 та бібліотеки WiFiClientSecure яка відповідає за забезпечення захищеного каналу зв'язку між мікроконтролером та сервером.

Щоб провести перевірку коректної взаємодії мікропроцесорного

детектора газу та Telegram бота, до включеного детектора газу буде піднесено джерело газу. Після того сенсор MQ-5 зафіксує перевищення концентрації газу в повітрі, ініціює відправку повідомлення через Telegram бота. Результатом буде повідомлення в Telegram (рис. 31). Також спробуємо отримати данні від сенсора мікроклімату використавши на команду /status (рис. 32).

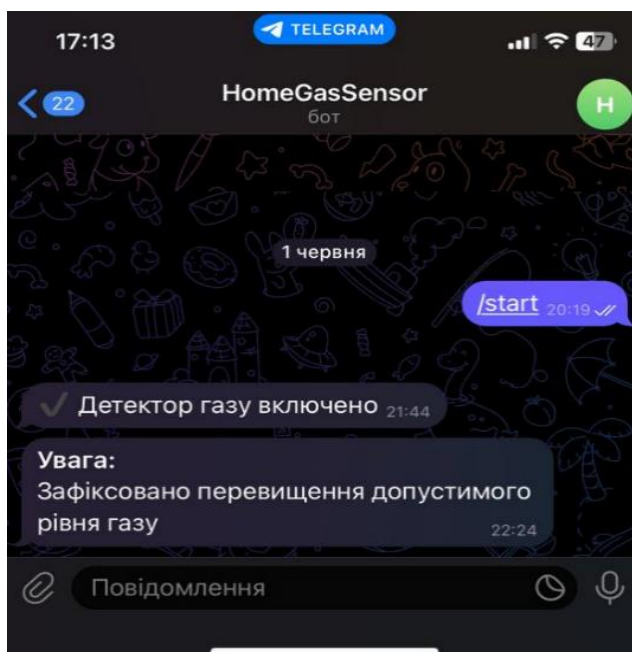


Рисунок 31 — Результат перевірки телеграм бота та сенсора газу

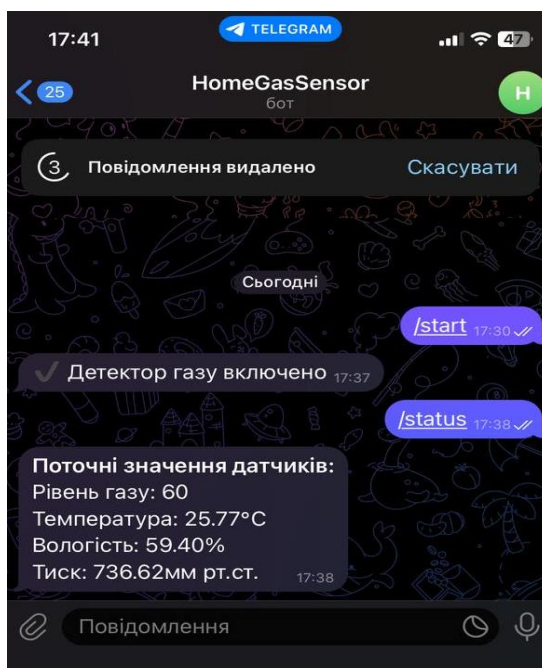


Рисунок 32 — Результат перевірки телеграм бота та сенсора мікроклімату

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено мікропроцесорний детектор газу для виявлення горючих газів з інтегрованим механізмом сповіщення користувача через месенджер Telegram. Розроблений пристрій поєднує функціональність апаратної та програмної частин для забезпечення автономного моніторингу повітряного середовища у реальному часі.

В ході проєктування здійснено ґрунтовний аналіз існуючих типів газових сенсорів, що дозволило обґрунтовано обрати оптимальний варіант — сенсор MQ-5, який забезпечує високу чутливість до метану, пропану, бутану та інших горючих газів. Для розширення можливостей системи до складу пристрою додано сенсор BME280, що дозволяє оцінювати параметри мікроклімату: температуру, вологість і атмосферний тиск. Центром обчислення та керування обрано мікроконтролер Wemos D1 mini, який завдяки вбудованому Wi-Fi-модулю забезпечує можливість бездротової передачі інформації.

В апаратній частині реалізовано звукову та світлову сигналізацію, а також LCD-дисплей для локального інформування. У програмній частині створено алгоритм зчитування показників із сенсорів, обробки даних та визначення критичних ситуацій. Сповіщення реалізовано через Telegram-бот, що дозволяє миттєво інформувати користувача незалежно від його місцезнаходження.

Система пройшла тестування в умовах, наближених до реальних, що підтвердило її працездатність, швидку реакцію на зміни концентрації газів і коректне функціонування модулів оповіщення.

Крім технічних результатів, проведено аналіз економічної доцільності впровадження розробленого пристрою. Загальна вартість компонентів системи виявилася приблизно у 2 рази нижчою, ніж середня ринкова ціна готових комерційних пристроїв з аналогічною функціональністю. Це свідчить про ефективність запропонованого рішення як з технічної, так і з економічної точки

зору, що дозволяє розглядати його як конкурентоспроможну альтернативу серійним виробам.

Таким чином, усі поставлені завдання були виконані, а кінцевий результат є практичним прикладом інтеграції недорогих мікроелектронних компонентів з сучасними засобами комунікації для підвищення безпеки у побутових умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна інспекція енергетичного нагляду України. Безпека використання газу в побуті / Державна інспекція енергетичного нагляду України. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://iens.gov.ua/news/bezpeka-vykorystannia-hazu-v-pobuti>.
2. SFPE (Society of Fire Protection Engineers). Audibility vs. Intelligibility of Fire Alarm Systems / SFPE. — SFPE.org, 2020. — [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.sfpe.org/publications/fpemagazine/fpeextra/etarchives3/fpeetissue69>
3. Збірник наукових праць XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів / за заг. ред. І. П. Коваленка. — Київ: Наукова думка, 2023. — 150 с.
4. Pfister C. Getting Started with the Internet of Things: Connecting Sensors and Microcontrollers to the Cloud / C. Pfister. — O'Reilly Media, 2021. — 210 p.
5. Попов В. В., Коваленко І. М. Мікропроцесорні системи: навч. посібник / В. В. Попов, І. М. Коваленко. — Київ: Ліра-К, 2020. — 312 с.
6. Kidde Gas Sensor MTG-3000H [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.fito.nl/wp-content/uploads/Datasheet-MTG-3000H-EN.pdf>
7. BRJ-502D Plug-in Digital Natural Gas Detector [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.cafago.com/en/p-e21380-eu.html>.
8. Сигналізатор газу Лелека-2 КСГ-ІР-АС – Технічні характеристики [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://promsystem.com.ua/product/leleka-2-kg-ir-as-sygnalizator-gazu-metan-okys-vugleczyu/>
9. MQ-2 Gas Sensor [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.pololu.com/file/0j309/mq2.pdf>
10. MQ-4 Gas Sensor [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://cdn.sparkfun.com/assets/e/f/c/7/d/MQ-4.pdf>
11. MQ-5 Gas Sensor [Електронний ресурс]. — Режим доступу:

<http://radiocom.dn.ua/image/data/pdf/MQ5-Datasheet.pdf>

12. MQ-6 Gas Sensor [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.pololu.com/file/download/mq6.pdf?file_id=0j312

13. MQ-9 Gas Sensor [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MQ-9_Hanwei.pdf

14. Skovgaard H. IoT Home Hacks with ESP8266 / H. Skovgaard. — Elektor, 2021. — 138 p.

15. WeMos Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://docs.wemos.cc/en/latest/tutorials/d1/get_started_with_arduino_d1.html

16. BME280 Combined Humidity and Pressure Sensor [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/humidity-sensors-bme280/>

17. Connecting the BME280 sensor to ESP Easy [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://emariete.com/en/connect-sensor-bme280-speasy/>.

18. Margolis M. Arduino Cookbook / M. Margolis. — Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. — 796 p.

19. Rui Santos. "Installing ESP8266 Board in Arduino IDE (Windows, Mac OS X, Linux)." [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://randomnerdtutorials.com/how-to-install-esp8266-board-arduino-ide/>

20. Telegram Bot API Documentation [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://core.telegram.org/bots/api>.

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ
проф., д.т.н.. Азаров О.Д.

«21» березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврського кваліфікаційної роботи
«Мікропроцесорний детектор газу з оповіщенням в месенджер»
08-54.БКР.017.00.000 ТЗ

Науковий керівник: доцент к.т.н.

Тарновський М.Г.

Студент групи ІСП-216

Чуприна С.В.

1 Підставою для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)

1.1 Актуальність теми бакалаврської роботи зумовлена зростаючою потребою в підвищенні безпеки людини в умовах використання газового обладнання. Несвоєчасне виявлення витoku газу може спричинити серйозні наслідки, зокрема вибухи, пожежі та загрозу для життя і здоров'я людей. У цьому контексті створення системи, здатної на ранніх етапах виявляти небезпечні концентрації газу, є не лише доцільним, а й критично важливим завданням.

1.2 Наказ про затвердження теми БКР.

2 Мета БКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — розширення функціональних можливостей засобу для фіксації наявності горючих газів у повітрі.

2.2 Призначення розробки — моніторинг наявності горючих газів у повітрі у побутових умовах з функцією віддаленого оповіщення.

3 Вихідні дані для виконання БКР

3.1 Призначення — виявлення витoku природнього газу.

3.2 Зовнішній інтерфейс — Wi-Fi.

3.3 Сповіщення — звукова сигнал, повідомлення у месенджер.

3.4 Апаратна реалізація — модуль Wemos D1 mini на основі мікроконтролера ESP8266.

3.5 Середовище розробки — Arduino IDE.

3.6 Мова програмування C++.

3.7 Бібліотеки Arduino для роботи з Wi-Fi-з'єднанням, API мобільних месенджерів.

4 Вимоги до виконання БКР

- 4.1 Провести аналіз предметної області.
- 4.2 Вибрати та обґрунтувати аналоги.
- 4.3 Провести аналіз методів та засобів виявлення горючих газів у повітрі.
- 4.4 Розробити електричну схему мікропроцесорного детектора газу.
- 4.5 Розробити програмне забезпечення ESP8266.
- 4.6 Розробити Telegram-бот для віддаленого контролю роботою пристрою.

5 Етапи БКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в Таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Етапи БКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Аналіз предметної області. Обґрунтування доцільності розробки	20.03.25	25.03.25	Вступ, розділ 1 ПЗ
2	Аналіз методів та засобів для виявлення наявності горючих газів у повітрі	20.03.25	25.03.25	Розділ 2
3	Розробка мікропроцесорного детектора газу	30.03.25	9.04.25	Розділ 3
4	Розробка програмного забезпечення мікропроцесорного детектора газу	09.04.25	15.04.25	Розділ 3
6	Розробка Telegram-бота	15.04.25	20.04.25	Розділ 3
7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	21.04.25	08.05.25	ПЗ, графіч. Матеріал і презентація
8	Підготовка супроводжуючих документів, їх підписування, проходження нормоконтролю та тесту на плагіат	13.05.25	13.05.25	Оформлені документи

6 Матеріали, що подаються до захисту БКР

До захисту подаються: пояснювальна записка БКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту БКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації

до БКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення БКР діючим вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту БКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації БКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист БКР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання БКР

8.1 При оформлювання БКР використовуються:

- ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;
- ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;
- міждержавний ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;
- методичні вказівки до виконання бакалаврських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 – «Комп'ютерна інженерія» (освітня програма «Системне програмування»). Кафедра обчислювальної техніки ВНТУ 2022;
- документами на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання БКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на першому (бакалаврському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21».

ДОДАТОК Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Мікропроцесорний детектор газу з оповіщенням в месенджер

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 2%

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ✓ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Азаров О.Д., зав. каф. ОТ
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Тарновський М.Г., доц. каф.
(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Захарченко С.М.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

к.т.н., доц. каф. ОТ Тарновський М.Г.
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____
(підпис)

Чуприна С.В.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

**МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ДЕТЕКТОР ГАЗУ З ОПОВІЩЕННЯМ В
МЕСЕНДЖЕР**



Рисунок В.1 — Структурна схема пристрою

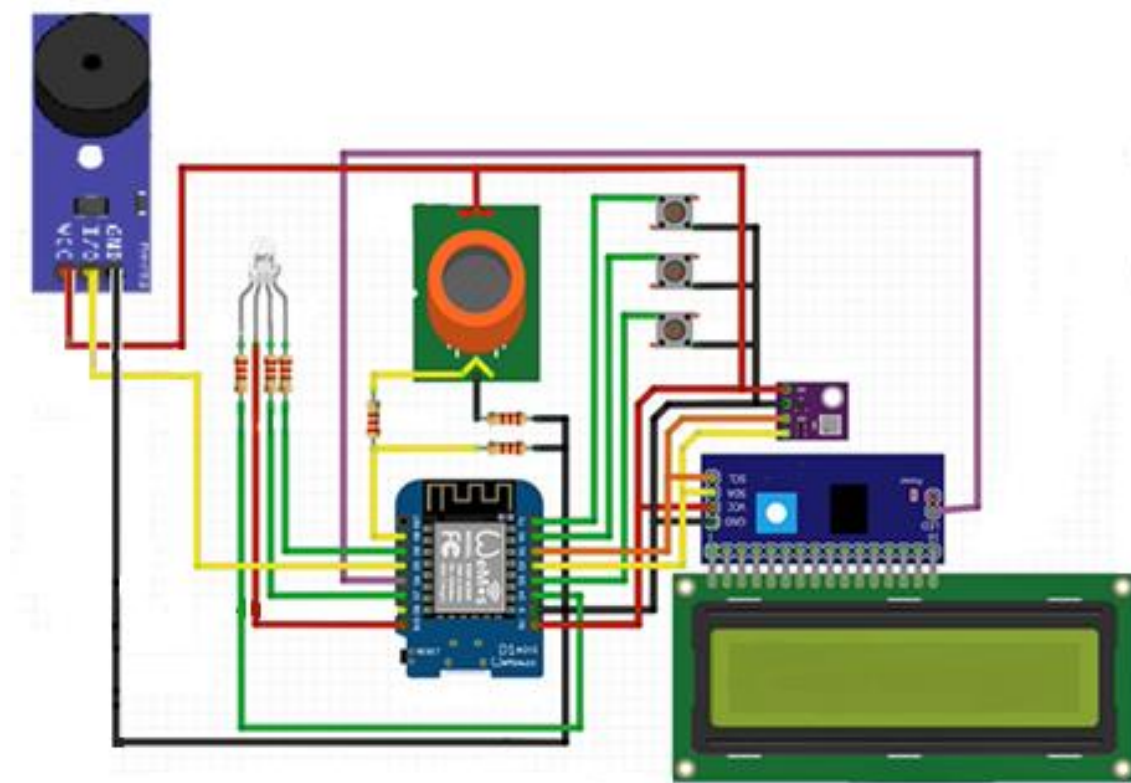


Рисунок Б.2 — Електрична схема пристрою

ДОДАТОК Г

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

**МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ДЕТЕКТОР ГАЗУ З ОПОВІЩЕННЯМ В
МЕСЕНДЖЕР**

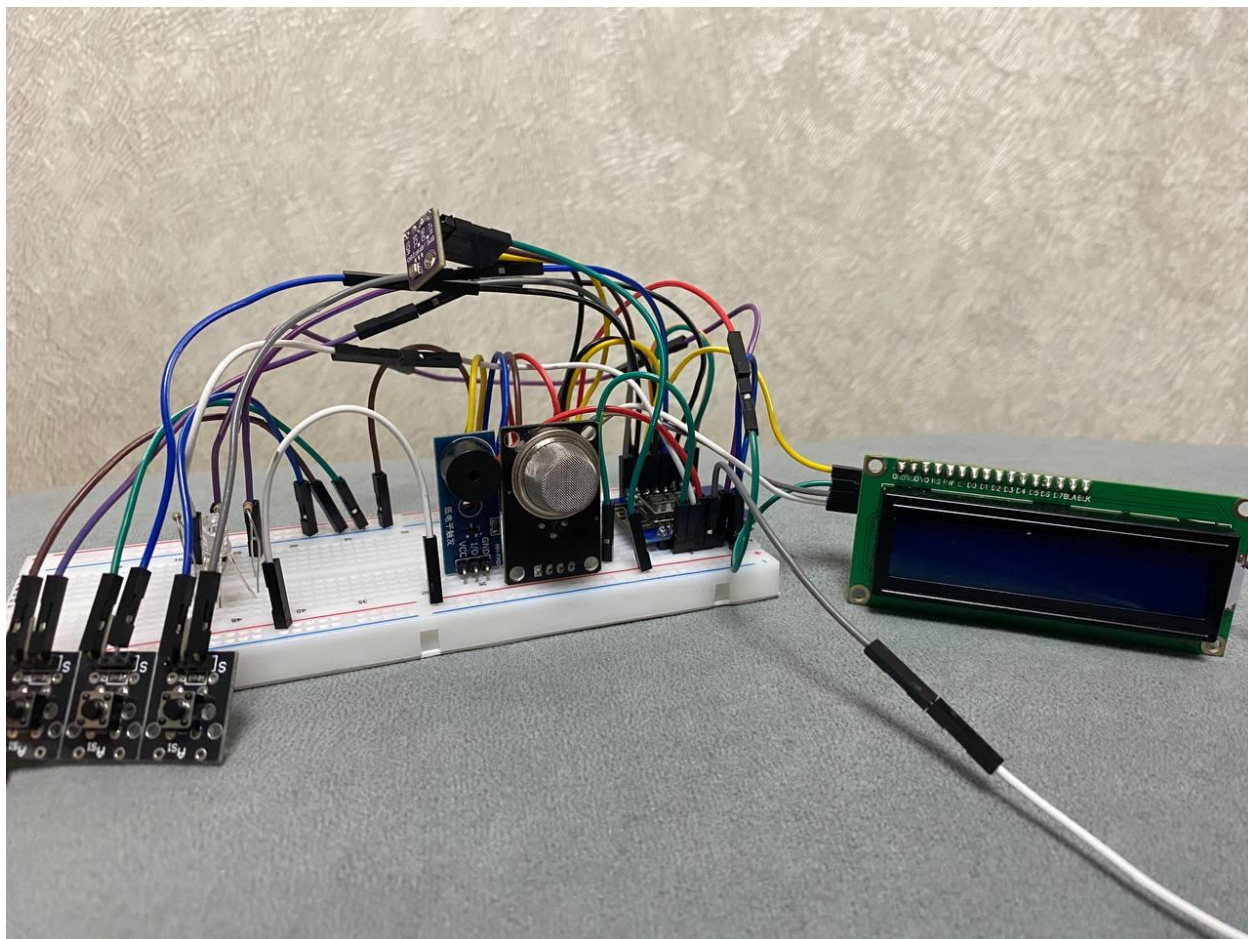


Рисунок Г.1 — Макет приладу

ДОДАТОК Д

Лістинг програмного забезпечення

```

#include <Wire.h>
#include <EEPROM.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <Adafruit_BME280.h>
#include <OneButton.h>
#define WIFI_SSID "GGG"
#define WIFI_PASSWORD "miner2288"
#define BOT_TOKEN "7893239861:AAGclhkOHRyNgg9IR1-
jztGtcSiZ3vervAo"
#define CHAT_ID "646701047"
#define pinBTN_1 3
#define pinBTN_2 0
#define pinBTN_3 1
#define pinLED_R 16
#define pinLED_G 13
#define pinLED_B 2
#define pinBuzzer 14
#define pinBacklight 12
#define pinMQ A0
#define timeUupdate 500

const unsigned long BOT_MTBS = 2000;
boolean LEDpinOn = 0;

int screen = 1;
int16_t MQvalue = 0;
int16_t MQalarm = 500;
int16_t lastValueMQ = 0;
int16_t backlightLevel = 14;

float Temperature = 0;
float Humidity = 0;
float Pressure = 0;
float lastValueTemperature = 0;
float lastValueHumidity = 0;
float lastValuePressure = 0;

long lastTime = 0;

```

```

long lastTimeAll = 0;
long lastTimeScroll = 0;
long lastTimeTelegram = 0;
unsigned long bot_lasttime;

boolean alarmFlag = true;
boolean normalFlag = false;
boolean telegramFlag = false;
boolean relayFlag = true;
boolean resetFlag = false;
boolean autoScrollFlag = false;

int16_t eepromMQ = 0;
int16_t eepromBacklight = 0;

String inlineKey;
const String inlineKeyStatus = "[{ \"text\" : \"  Отримати значення сенсорів  
\", \"callback_data\" : \"/status\" }]";

byte black[8] = {0B11111, 0B11111, 0B11111, 0B11111, 0B11111, 0B11111, 0B11111, 0B11111};
byte degree[8] = {0B11100, 0B10100, 0B11100, 0B00000, 0B00000, 0B00000, 0B00000, 0B00000};

X509List cert(TELEGRAM_CERTIFICATE_ROOT);
WiFiClientSecure secured_client;
UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, secured_client);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
Adafruit_BME280 bme;
OneButton button1(pinBTN_1, true);
OneButton button2(pinBTN_2, true);
OneButton button3(pinBTN_3, true);

void setup() {
  Wire.begin();
  Serial.begin(115200);
  pinMode(pinMQ, INPUT);
  pinMode(pinBTN_1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinBTN_2, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinBTN_3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinLED_R, OUTPUT);
  pinMode(pinLED_G, OUTPUT);
  pinMode(pinLED_B, OUTPUT);
  pinMode(pinBacklight, OUTPUT);

```