

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВНУТРІШНІХ СПРАВ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ УПРАВЛІННЯ, ПСИХОЛОГІЇ
ТА БЕЗПЕКИ**

Кафедра інформаційних технологій

**РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ
ДЛЯ ЗАХИСТУ ПОЛІЦЕЙСЬКИХ ВІД ОТРУСННЯ ПРИ ВИКОНАННІ
СЛУЖБОВИХ ОБОВ'ЯЗКІВ**

Кваліфікаційна робота
здобувача вищої освіти
4 курсу денної форми навчання
Вікторії ПРОЦІВ

Науковий керівник:
доцент, кандидат технічних наук
Ярема КУЛЕШНИК

Рецензент:

вчене звання, науковий ступінь

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ рецензента)

Кваліфікаційна робота допущена до захисту

« ___ » _____ 2026 р., протокол № _____

Завідувач кафедри інформаційних технологій

Олег ЗАЧЕК

(підпис)

Львів
2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СТАН ПРОБЛЕМНОЇ ОБЛАСТІ.....	8
1.1. Огляд методів визначення концентрації газових сумішей.....	8
1.2. Порівняльний аналіз пристроїв детекції шкідливих газів.....	12
РОЗДІЛ 2. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ	23
2.1. Програмне середовище Proteus VSM для проєктування систем на мікроконтролерах.....	23
2.2. Характеристика інтегрованого середовища розробки Arduino IDE.....	25
РОЗДІЛ 3. АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ.....	28
3.1. Формування специфікації елементної бази системи виявлення шкідливих газів.....	28
3.2. Технічні особливості та класифікація сенсорів лінійки MQ.....	31
3.3. Організація виведення даних на рідкокристалічний індикатор.....	44
3.4. Реалізація функцій бездротового зв'язку з використанням GSM/GPRS-модуля SIMCom SIM900.....	47
3.5. Проєктування системи виявлення шкідливих газів в Proteus VSM.....	53
РОЗДІЛ 4. ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ.....	56
4.1. Алгоритм калібрування сенсорів MQ-серії.....	56
4.2. Алгоритм функціонування системи виявлення шкідливих газів.....	61
4.3. Програмне керування РК-модулем відображення інформації та інтерфейсу користувача з допомогою бібліотеки LiquidCrystal.....	68
4.4. Розроблення керуючої логіки та інтеграція програмних модулів системи детектування газів	69
ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	80

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АЦП – аналого-цифровий перетворювач; апаратний вузол для трансформації безперервного аналогового сигналу в цифровий еквівалент.

ЕК – електрична схема; графічне представлення з'єднань між компонентами електронного пристрою.

МК – мікроконтролер; однокристальний комп'ютер, призначений для керування електронними пристроями.

ПЗ – програмне забезпечення; сукупність програм та інструкцій для функціонування обчислювальної системи.

ПК – персональний комп'ютер.

РКІ/РКД (LCD) – рідкокристалічний індикатор (дисплей); знаковинтезуючий екран для візуалізації даних.

САПР (CAD) – система автоматизованого проектування; програмний комплекс для розробки технічної та конструкторської документації.

Arduino – апаратно-програмна платформа з відкритим кодом, призначена для швидкого прототипування пристроїв на базі мікроконтролерів.

Arduino IDE – інтегроване програмне середовище, що застосовується для написання, компіляції та завантаження коду в пам'ять мікроконтролера.

AVR – родина 8-бітних мікроконтролерів RISC-архітектури, розроблена компанією Atmel.

EEPROM – електрично стираюча програмована пам'ять лише для читання.

FLASH – тип енергонезалежної напівпровідникової пам'яті, що використовується для зберігання виконуваного коду програми.

RAM (ОЗП) – оперативний запам'ятовуючий пристрій; енергозалежна пам'ять.

ROM (ПЗП) – постійний запам'ятовуючий пристрій; пам'ять лише для читання.

USART – універсальний синхронно-асинхронний приймач-передавач; послідовний інтерфейс зв'язку для обміну даними між пристроями.

АНОТАЦІЯ

Проців В., Кулешник Я. (керівник). Розроблення системи виявлення шкідливих газів для захисту поліцейських від отруєння при виконанні службових обов'язків. Бакалаврська кваліфікаційна робота. – Львівський державний університет внутрішніх справ, Львів, 2026.

У кваліфікаційній роботі представлено розробку спеціалізованої системи моніторингу повітряного середовища, призначеної для оперативного виявлення небезпечних газоподібних сполук та захисту особового складу правоохоронних органів від гострих інтоксикацій під час виконання службових завдань. Апаратна логіка системи забезпечує чітке розділення станів системи: зелена світлодіодна індикація сигналізує про безпечну екологічну обстановку, тоді як перевищення норм ГДК переводить комплекс у режим тривоги. Аварійне сповіщення є дубльованим і охоплює локальні засоби (звуковий сигнал, червоне світло, LCD та послідовний порт) і віддалений канал зв'язку (надсилання SMS через GSM-інтерфейс), що гарантує високу надійність інформування про загрозу отруєння. Технічну реалізацію системи газового моніторингу виконано на базі МК Arduino Mega 2560 R3. До складу вимірювально-комунікаційного тракту системи входять сенсори аналізу повітря серії MQ, РК-дисплей 1602 та модуль стільникового зв'язку GSM SIMCom SIM900. Практична реалізація проєкту полягала у створенні електричної принципової схеми та моделі газоаналізатора засобами САПР Proteus VSM. Програмне ядро системи, що базується на обчислювальних ресурсах МК ATmega2560, розроблене на мові C/C++ в середовищі Arduino IDE. Фінальним етапом стала комп'ютерна емуляція роботи системи в Proteus ISIS, що дозволило відстежити динаміку обробки сигналів сенсорів та роботу інтерфейсів зв'язку в режимі реального часу.

Ключові слова: система виявлення шкідливих газів, індивідуальний захист правоохоронців, моніторинг повітряного середовища, сенсори серії MQ, GSM-модуль SIMCom SIM900, апаратна платформа Arduino Mega 2560, МК ATmega2560, САПР Proteus VSM, C/C++, Arduino IDE.

ABSTRACT

Protsiv V., Kuleshnyk Ya. (supervisor). Development of a harmful gas detection system to protect police officers from poisoning while performing their duties.. Bachelor's thesis. – Lviv State University of Internal Affairs, Lviv, 2026.

The qualification work presents the development of a specialized air environment monitoring system designed for the prompt detection of dangerous gaseous compounds and the protection of law enforcement personnel from acute intoxication while performing official duties. The hardware logic of the system provides a clear separation of system states: a green LED indication signals a safe environmental situation, while exceeding the maximum permissible concentrations puts the complex into alarm mode. The emergency notification is duplicated and includes local means (sound signal, red light, LCD and serial port) and a remote communication channel (sending SMS via GSM interface), which guarantees high reliability of informing about the threat of poisoning. The technical implementation of the gas monitoring system was carried out on the basis of the Arduino Mega 2560 R3 microcontroller. The system's measurement and communication path includes MQ series air analysis sensors, a 1602 LCD display, and a SIMCom SIM900 GSM cellular communication module. The practical implementation of the project consisted in creating an electrical schematic diagram and a model of the gas analyzer using Proteus VSM CAD software. The software core of the system, based on the computing resources of the ATmega2560 microcontroller, was developed in C/C++ in the Arduino IDE environment. The final stage was computer emulation of the system in Proteus ISIS, which allowed us to track the dynamics of sensor signal processing and the operation of communication interfaces in real time.

Keywords: harmful gas detection system, police officer protection, environmental monitoring, MQ gas sensors, GSM module SIMCom SIM900, Arduino Mega 2560 platform, ATmega2560 microcontroller, Proteus VSM CAD, C/C++ programming language, Arduino IDE embedded software toolkit.

ВСТУП

В рамках концепції цифровізації та модернізації правоохоронних органів, створення інтелектуальних систем моніторингу середовища є одним із пріоритетних напрямків. Розроблення системи виявлення шкідливих газів розглядається не просто як створення окремого приладу, а як елемент сучасного “розумного” екіпірування поліцейського. Актуальність теми підтверджується необхідністю автоматизації процесів оцінки ризиків, де людський фактор (неможливість відчутти газ на запах чи колір) замінюється прецизійною роботою електронних компонентів. Такий підхід дозволяє не лише попередити офіцера про небезпеку, а й забезпечити збір даних про екологічну ситуацію на місці події.

Сучасна діяльність підрозділів поліції характеризується високою динамічністю та регулярним перебуванням особового складу в зонах підвищеного техногенного ризику. Під час огляду закритих приміщень, підземних комунікацій, місць аварій або ліквідації підпільних хімічних лабораторій виникає критична загроза впливу шкідливих та токсичних газів. Оскільки більшість небезпечних речовин, таких як чадний газ (CO) чи природний газ, не мають кольору та запаху, їх неможливо виявити органами чуття людини до моменту настання симптомів отруєння.

Інтеграція новітніх мікроконтролерних модулів та чутливих давачів дозволяє реалізовувати недорогі, але ефективні засоби вимірювальної техніки. Прикладом такого рішення може бути система газового аналізу, адаптована під потреби поліції для запобігання отруєнню шкідливими парами під час несення служби в особливих умовах.

Метою роботи є розроблення апаратного та вбудованого програмного забезпечення портативної системи виявлення шкідливих газів на базі мікроконтролера та напівпровідникових сенсорів для автоматизації контролю безпеки поліцейських. Система має забезпечувати детекцію небезпечних газових сполук і реагувати на досягнення критичних рівнів концентрації (ГДК)

шляхом активації звукового оповіщення, світлових сигналів та візуалізації попереджень на дисплеї.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

- провести огляд методів визначення концентрації газових сумішей та порівняльний аналіз пристроїв детекції шкідливих газів.
- зробити обґрунтований вибір елементної бази: мікроконтролера, газових сенсорів та засобів індикації.
- розробити структурну та принципову електричну схеми системи.
- створити алгоритм роботи системи та розробити програмне забезпечення для обробки сигналів із сенсорів.
- провести моделювання роботи системи в спеціалізованому середовищі Proteus ISIS.

Об'єкт дослідження – процеси моніторингу параметрів повітряного середовища та раннього виявлення токсичних домішок.

Предмет дослідження – мікроконтролерна система автоматичного виявлення шкідливих газів із використанням цифрових та аналогових сенсорів.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети та розроблення системи газового моніторингу було використано комплекс науково-технічних та інженерних методів: методи системного аналізу та порівняльного огляду; методи математичного моделювання та аналітичної геометрії; методи схемотехнічного та імітаційного моделювання (у середовищі САПР Proteus VSM); методи об'єктно-орієнтованого та вбудованого програмування (мова C/C++, середовище Arduino IDE); експериментально-статистичні методи (кореляційний аналіз).

Структура роботи. Кваліфікаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Обсяг основного тексту роботи складає 77 сторінок, 38 рисунків, 14 таблиць, 2 додатки і 17 бібліографічних джерел. Загальний обсяг роботи – 85 сторінок.

г/м ³	1	10 ³ ·C _a	10 ⁻³ ·C _a /M	8312,6·10 ⁻¹ C _a T/MP	8312,6·C _a T/MP	8312,6·10 ³ C _a T/MP	8312,6·10 ⁶ C _a T/MP
мг/м ³	10 ⁻³ ·C _a	1	10 ⁻⁶ ·C _a /M	8312,6·10 ⁻⁴ C _a T/MP	8312,6·10 ⁻³ C _a T/MP	8312,6·C _a T/MP	8312,6·10 ³ C _a T/MP
моль/ дм ³	10 ³ ·C _a /M	10 ⁶ ·C _a /M	1	8312,6·10 ⁻² C _a T/P	8312,6·10 ⁻³ C _a T/P	8312,6·10 ⁶ C _a T/P	8312,6·10 ⁹ C _a T/P
% (об.)	(0,12·10 ⁻² ·C _a MP)/ T	0,12·10 ¹ ·C _a MP/T	0,12·10 ⁻⁵ C _a MP/T	1	10·C _a	10 ⁴ ·C _a	10 ⁷ ·C _a
дм ³ /м ³ (‰)	0,12·10 ⁻³ C _a MP/T	0,12·C _a MP/T	0,12·10 ⁻⁶ C _a P/T	10 ⁻¹ ·C _a	1	10 ³ ·C _a	10 ⁶ ·C _a
ppm	0,12·10 ⁻⁶ C _a MP/T	0,12·10 ⁻³ C _a MP/T	0,12·10 ⁻⁹ C _a MP/T	10 ⁻⁴ ·C _a	10 ⁻³ ·C _a	1	10 ³ ·C _a
ppb	0,12·10 ⁻⁹ C _a MP/T	0,12·10 ⁻⁶ C _a MP/T	0,12·10 ⁻¹² C _a MP/T	10 ⁻⁷ ·C _a	10 ⁻⁶ ·C _a	10 ⁻³ ·C _a	1

Прийняті позначення та співвідношення: C_a – чисельне значення концентрації у вихідних (заданих) одиницях; C_x – чисельне значення концентрації у шуканих одиницях; M – молярна маса досліджуваного газу, г/моль; P – абсолютний тиск газової суміші, Па; T – термодинамічна температура, К; R ≈ 8,314 Дж/(моль·К) – універсальна газова стала (врахована в коефіцієнтах). Довідкові рівності одиниць: 1 г/м³= 1 мг/л; 1 мг/м³ = 1 мкг/дм³=1 мкг/л; 1 моль/дм³=1 моль/л; 1 см³/м³=1 мл/м³=1 ppm.

Метрологічні стандарти в Україні зазвичай оперують одиницями масової концентрації (мг/м³) або відсотковим вмістом. У зарубіжній інженерній практиці де-факто стандартом є використання мільйонних часток (ppm). Ці одиниці є взаємозамінними при відповідному масштабуванні: оскільки 1 ppm становить одну мільйонну частину, а 1% – одну соту, то 1 ppm дорівнює 0,0001%. Таким чином, для конвертації відсоткового значення у ppm його необхідно помножити на 10⁴ (наприклад, 3%=30,000 ppm).

Для переходу від об'ємних часток (ppm) до масової концентрації (мг/м³) необхідно враховувати молярну масу цільового компонента, а також тиск і температуру навколишнього середовища. Узагальнена математична модель перерахунку має вигляд:

$$C_x = \frac{C_a \cdot M}{V_M} \quad (1.1)$$

При цьому молярний об'єм V_M безпосередньо залежить від термодинамічних умов і визначається через універсальну газову сталу R та абсолютну температуру T . Важливо зауважити, що розрахунки проводяться виключно за шкалою Кельвіна, що є критичним для забезпечення метрологічної точності газоаналізатора.

Порівняльний аналіз масової концентрації CO та CO_2 при однаковому об'ємному вмісті (3% або 30 000 ppm) демонструє пряму залежність результатів від молекулярної структури речовин. Молекулярна маса CO_2 значно перевищує масу CO , що призводить до того, що за однакових термодинамічних умов вуглекислий газ є майже вдвічі важчим за чадний. У практичному аспекті проектування систем безпеки це означає різне вертикальне зонування: CO_2 осідає в низинах, а CO піднімається до стелі. При розрахунках для CO за стандартних умов значення 30 000 ppm еквівалентне 34,932,2 мг/м³, що підтверджує необхідність індивідуального калібрування сенсорів для кожного типу газу.

При розробці алгоритмів обчислення слід враховувати наступні константи та умови:

1. Масштабування часток: Співвідношення між відсотковим вмістом та ppm є фіксованим і становить 10^4 (1%=10,000 ppm).
2. Специфіка середовища: У гідрохімічних розрахунках (аналіз рідин) показник 1 ppm відповідає масовій концентрації 1 мг/дм³.
3. Для автоматизації процесу перерахунку газів у програмному забезпеченні доцільно використовувати або інтегровані таблиці коефіцієнтів, або динамічне обчислення за формулою стану ідеального газу, що враховує молярну масу компонента та термодинамічні параметри системи (T , P).

Математична модель перерахунку концентрацій базується на фундаментальному рівнянні Клапейрона-Менделєєва (1.2).

$$P \cdot V_M = R \cdot T \quad (1.2)$$

де P – абсолютний тиск; V_M – молярний об'єм; R – універсальна газова стала; T – абсолютна температура.

У розрахунках для вбудованих систем контролю газу часто використовується модифікована форма рівняння (1.3), що пов'язує об'єм системи з масою m та молярною масою M компонентів.

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \quad (1.3)$$

де m та M відповідно позначають масу та молярну масу газу.

Виходячи з того, що одиниця ppm представляє мільйонну частку об'єму (10^{-6}), кінцева залежність для отримання масової концентрації (1.4) демонструє, що значення у $\text{мг}/\text{м}^3$ прямо пропорційне молярній масі та тиску, і обернено пропорційне абсолютній температурі середовища. Це дозволяє динамічно корегувати покази датчиків при зміні зовнішніх умов.

$$C_{\text{мг}/\text{м}^3} = \frac{M \cdot C_{\text{ppm}}}{\frac{R \cdot T}{P}} \quad (1.4)$$

Приклад практичного розрахунку для чадного газу (CO):

Для визначення масової концентрації 1 ppm чадного газу за заданих умов ($T=293,15$ К, $P=101325$ Па) підставимо відповідні значення у формулу (1.4). Молярна маса CO становить $M=12+16=28$ г/моль (або $28 \cdot 10^{-3}$ кг/моль для системи SI):

$$C_{\text{мг}/\text{м}^3} = \frac{28 \cdot 10^{-3} \cdot 1}{\frac{8,314472 \cdot 293,15}{101325}} \approx 1,164 \text{ мг} / \text{м}^3$$

Співвідношення між безрозмірними одиницями (ppm та ppt):

Визначення одиниць ppm (*parts-per-million*) та ppt (*parts-per-trillion*) базується на наступних математичних частках: 1 ppm= 10^{-6} (одна мільйонна частина); 1 ppt= 10^{-12} (одна трильйонна частина).

Звідси випливає, що 1 ppm= 10^6 ppt. Для перерахунку концентрації з мільйонних часток (x_{ppm}) у трильйонні (x_{ppt}) використовується формула:

$$x_{\text{ppt}} = x_{\text{ppm}} \cdot 10^6$$

Наприклад, вміст речовини у 7 ppb еквівалентний $7 \cdot 10^6$ ppt (7 000 000 ppt).

Таблиця 1.2. Співвідношення значень між одиницями ppb та ppt

ppb (частин на мільйон)	ppt (частин на трильйон)	Формат степеня (ppt)
0,000001	1	10^0
0,00001	10	10^1
0,0001	100	10^2
0,001	1 000	10^3
0,01	10 000	10^4
0,1	100 000	10^5
1	1 000 000	10^6
10	10 000 000	10^7
100	100 000 000	10^8
1 000	1 000 000 000	10^9
10 000	10 000 000 000	10^{10}

У практиці газового аналізу перехід від одиниць ppb до ppt здійснюється шляхом масштабування на три порядки. Оскільки 1 ppb є в тисячу разів меншою величиною за 1 ppt, розрахунок виконується за формулою:

$$x_{ppt} = x_{ppb} \cdot 10^{-3}$$

Такий перерахунок є типовим для систем моніторингу навколишнього середовища, де чутливість сенсорів дозволяє фіксувати наднизькі концентрації домішок. Наприклад, показник 7000 ppb, отриманий з прецизійного датчика, у загальноприйнятих одиницях мільйонних часток прийматиме значення 7 ppt.

Таблиця 1.3. Співвідношення та перерахунок одиниць ppb у ppt

ppb (частин на мільярд)	ppm (частин на мільйон)	Співвідношення (у степенях)
1	0,001	10^{-3}
10	0,01	10^{-2}
100	0,1	10^{-1}
1 000	1	10^0
10 000	10	10^1
100 000	100	10^2
1 000 000	1 000	10^3

1.2. Порівняльний аналіз пристроїв детекції шкідливих газів

Для проведення якісного та кількісного аналізу газових середовищ застосовують газоаналізатори. Залежно від способу експлуатації їх класифікують на прилади з ручним керуванням та автоматизовані системи. У

ручних моделях найчастіше реалізовано абсорбційний метод, де складові частини суміші по черзі взаємодіють із відповідними реагентами. Натомість автоматичне обладнання забезпечує безперервну реєстрацію фізико-хімічних властивостей газу, що дозволяє оперативнo відстежувати зміни в його складі.

Газоаналізаторами називають групу вимірювальних пристроїв, які забезпечують аналіз компонентного складу газових сумішей у різних секторах економіки та науки. Системи безперервного автоконтролю відіграють ключову роль у регулюванні хіміко-технологічних операцій. Зокрема, вони забезпечують точність процесів отримання та використання газоподібних речовин у таких стратегічних напрямках, як коксохімія, нафтопереробка, металургія та газова промисловість.

В енергетичній галузі, зокрема під час спалювання органічного палива на ТЕС, автоматизовані системи газового аналізу відіграють ключову роль у моніторингу процесів горіння та оптимізації коефіцієнта надлишку повітря. Окрім технологічного контролю, газоаналізатори є критично важливими для забезпечення промислової безпеки. До таких засобів належать пристрої для вимірювання вмісту водню в контурах охолодження турбогенераторів, а також прилади для аналізу газів продувки в установках із радіоактивним теплоносієм на атомних електростанціях.

Посилений контроль за антропогенним впливом на природу стимулював розвиток засобів детектування шкідливих домішок. На сьогодні газоаналізатори застосовуються для комплексної оцінки якості атмосфери та повітря робочих зон. Регламентований перелік речовин для періодичного вимірювання охоплює найбільш небезпечні забруднювачі: від оксидів вуглецю та азоту до діоксиду сірки. Це забезпечує дотримання встановлених санітарно-гігієнічних норм у повітряному просторі міст та промислових центрів. В основі детектування окремих газів лежить ідентифікація їхніх специфічних властивостей, що не притаманні іншим складникам суміші. Вираженість цих відмінностей позитивно впливає на чутливість аналізатора та дозволяє мінімізувати етапи фільтрації чи підготовки газу. Широкий спектр

існуючих технологій вимірювання зумовлений необхідністю аналізувати різні за природою сполуки в умовах значної варіативності їхнього вмісту в середовищі.

Для спрощення процесу аналізу більшість серійних газоаналізаторів працюють за принципом ідентифікації одного компонента. При цьому складне газове середовище зводиться до еквівалентної бінарної суміші. Вважається, що на вимірюваний параметр впливає лише шукана речовина, тоді як інші складники виступають у ролі узагальненого фону, що дозволяє значно спростити алгоритми обробки даних та конструкцію сенсорів.

Для комплексного дослідження складних багатокомпонентних середовищ застосовуються спеціалізовані газоаналізатори, найширше представлені в лабораторному секторі. Кількісні показники вмісту газів зазвичай виражаються в об'ємних відсотках (%), а також у масових одиницях (г/м^3 , мг/л). Використання відсоткової частки є пріоритетним у технічній документації, оскільки цей показник залишається інваріантним до вагань тиску та температури. Для детектування мікроконцентрацій впроваджено міжнародні одиниці: ppm (млн^{-1}), що відповідає одній мільйонній частці (0,0001%), та ppb (млрд^{-1}) — для аналізу на рівні однієї мільярдної частини об'єму.

Для калібрування та перевірки точності газоаналізаторів застосовують атестовані зразки еталонних сумішей. Розподіл пристроїв на групи здійснюється за типом фізико-хімічного явища, яке використовується для ідентифікації цільового компонента. До основної структури класифікації належать механічні, термодинамічні (теплові), магнітні та оптичні системи. Окрему нішу займають електричні методи, а також складні аналітичні комплекси, такі як хроматографи та мас-спектрометри.

Конструктивна складність газоаналізаторів суттєво відрізняє їх від базових метрологічних засобів (наприклад, термометрів чи манометрів). Типовий газоаналітичний комплекс потребує наявності трактів транспортування та підготовки газової проби. За функціональним

призначенням ці пристрої класифікують на: метрологічні аналізатори, орієнтовані на отримання точних кількісних даних; сигнальні пристрої (детектори), що служать для оперативного виявлення газів або їх витоків. Детектори другої групи часто реалізуються у вигляді мобільних (переносних) модулів із компактною конструкцією, що не потребує розгалуженої системи подачі газу.



Рис. 1.1. Автономний газовий детектор “Страж М-502” із бездротовим інтерфейсом передачі даних

На Рис. 1.1 представлено промисловий зразок сучасного сигналізатора газів “Страж М-502”, який використовується для дистанційного моніторингу повітряного середовища. У Табл.1.4 наведено основні характеристики газового детектора “Страж М-502”.

Таблиця 1.4. Основні характеристики газового детектора “Страж М-502”

Параметр	Характеристика моделі Страж М-502
Цільові гази	Метан (природний газ), зріджені гази (пропан, бутан)
Тип підключення	Бездротовий (радіоканал 433 МГц)
Сповіщення	Вбудована акустична сирена
Радіус дії	До 100 м (за умов відсутності перешкод)
Живлення	АС 220 В

Принцип дії бездротового детектора газу серії “Страж” ґрунтується на реєстрації теплового ефекту при каталітичному згорянні газоповітряної суміші. У структурі датчика розміщено чутливий елемент-каталізатор, температура якого зростає пропорційно вмісту пальних газів у середовищі.

Перевищення допустимого рівня нагріву ініціює стан “Тривога”, що супроводжується бездротовою передачею інформації на частоті 433 МГц (або іншій робочій частоті централі) та ввімкненням внутрішнього звукового випромінювача. Сфера застосування охоплює об'єкти з високими вимогами до пожежної безпеки, включаючи готельні, адміністративні та промислові споруди.

Розглядаючи експлуатаційні характеристики моделі, варто відзначити її високу адаптивність до побутових умов. Завдяки бездротовому протоколу, встановлення датчика не потребує втручання в інженерні комунікації або порушення цілісності ремонту. Пристрій поєднує в собі функції детектора та оповіщувача, оскільки оснащений власною сиреною (85 дБ). Живлення від мережі 220 В забезпечує безперебійний моніторинг, а використання безліцензійного радіоканалу дозволяє інтегрувати його з центральними Evolution та Avizor без додаткових юридичних погоджень. Максимальний радіус видалення від контрольної панелі при цьому може сягати 100 метрів.

На Рис. 1.2 зображено інтелектуальний датчик серії Tecsar Alert, призначений для безперервного контролю концентрації СО в закритих приміщеннях.



Рис. 1.2. Побутовий сигналізатор чадного газу Tecsar Alert SENS-CO з інтегрованим РК-дисплеєм

У Табл.1.5 наведено характеристики сигналізатора чадного газу Tecsar Alert SENS-CO.

Таблиця 1.5. Характеристики *Tecsar Alert SENS-CO*

Параметр	Опис моделі <i>Tecsar Alert SENS-CO</i>
Об'єкт детектування	Монооксид вуглецю (CO)
Тип підключення	Радіоканал (433 МГц)
Індикація	LED-екран, світлодіод, звукова сирена
Дистанція зв'язку	До 100 м від центрального хабу
Енергозабезпечення	3 x AAA (4,5 В DC)
Особливості	Наднизьке енергоспоживання, швидкий монтаж

Пристрій *Tecsar Alert SENS-CO* забезпечує цілодобовий автоматизований контроль вмісту монооксиду вуглецю (CO) у повітряному просторі. У разі детектування рівнів концентрації, що перевищують встановлені санітарні норми, система ініціює комплексне сповіщення. Процес реагування включає активацію локальних світлозвукових індикаторів, а також трансляцію тривожного радіосигналу на головний контролер охоронної системи. Впровадження таких сповіщувачів є критично важливим для локацій із високим ризиком накопичення продуктів неповного згорання: закритих паркінгів, гаражних боксів, котелень, підвальних приміщень, а також об'єктів, де експлуатуються двигуни внутрішнього згорання.

Модель *Tecsar Alert SENS-CO* поєднує в собі сучасні технології мікропроцесорного керування та перевірені методи електрохімічного аналізу повітря. Завдяки використанню енергоефективного контролера, датчик здатний тривалий час працювати в автономному режимі, транслюючи дані на частоті 433 МГц. Візуальний контроль здійснюється через яскравий світлодіодний дисплей, а керування пристроєм спрощено до однієї інтелектуальної кнопки. Бездротова передача сигналу на відстань до 100 м у поєднанні з потужною вбудованою сиреною робить цей пристрій надійним елементом системи безпеки, який не потребує складних монтажних робіт чи отримання спеціальних ліцензій на використання частотного ресурсу.

Для гарантування безпеки в житлових та господарських приміщеннях застосовується інтелектуальний датчик *LifeSOS CO-M330* (Рис. 1.3). Цей пристрій спеціалізується на виявленні небезпечних концентрацій чадного газу.



Рис. 1.3. Автономний газоаналізатор серії LifeSOS CO-M330 для детектування монооксиду вуглецю

У Табл.1.6 наведено технічні параметри та експлуатаційні можливості газоаналізатора LifeSOS CO-M330.

Таблиця 1.6. Технічні параметри та експлуатаційні можливості CO-M330

Параметр	Технічне рішення моделі LifeSOS CO-M330
Тип зв'язку	Бездротовий, захищений протокол (4 млрд комбінацій)
Дальність передачі	До 300 м (відкритий простір)
Функції контролю	Регулярне самотестування, індикація розряду батареї
Автономність	До 30 місяців (2,5 роки) від 3-х батарей АА
Звукова потужність	85 дБ (вбудований акустичний сповіщувач)
Встановлення	Накладний монтаж без дротів

Модель LifeSOS CO-M330 призначена для оперативного виявлення критичних рівнів CO шляхом реєстрації теплого ефекту на спеціальному каталізаторі. Перевищення температурного порогу активує вбудовану сирену та надсилає захищений сигнал тривоги на централь. Пристрій вирізняється підвищеною безпекою радіоканалу (шифрування плаваючим кодом) та значним радіусом дії (300 м). Система регулярно звітує про свій технічний стан і рівень заряду батарей. Датчик є універсальним рішенням для об'єктів з ризиком накопичення чадного газу, таких як гаражі, склади та котельні, оскільки не потребує ліцензування частоти та складних налаштувань.

Для проведення сервісних робіт та оперативного виявлення розгерметизації газопроводів широко використовуються портативні

детектори, такі як Testo 317-2 та Center 383 (Рис. 1.4). Ці пристрої належать до класу мобільних сигналізаторів, які вирізняються високою швидкістю відгуку та компактними габаритами. Обидві моделі використовують напівпровідникові або каталітичні сенсори, які миттєво реагують на присутність метану чи пропану в повітрі, сповіщаючи користувача за допомогою оптичних та акустичних сигналів. Такі прилади є незамінними для фахівців газових служб та технічного персоналу промислових підприємств.



Рис. 1.4. Портативні аналізатори витоку горючих газів: моделі Testo 317-2 (ліворуч) та Center 383 (праворуч)

Мобільний сигналізатор витоку паливних газів testo 317-2 належить до класу компактних аналітичних засобів, призначених для оперативного виявлення розгерметизації газових систем. Прилад оптимізований для детектування метан-повітряних (CH_4) та пропан-повітряних (C_3H_8) сумішей. Завдяки ергономічному виконанню та високій чутливості сенсора, testo 317-2 дозволяє локалізувати місця витоку у важкодоступних зонах газопроводів та арматури. У Табл.1.7 наведено технічні характеристики портативного детектора Testo 317-2.

Таблиця 1.7. Технічні характеристики портативного детектора Testo 317-2

Параметр	Значення
Діапазон реєстрації концентрації	0...20000 ppm (CH_4); 0...10000 ppm (C_3H_8)
Поріг чутливості (нижня межа)	100 ppm (CH_4); 50 ppm (C_3H_8)
Діапазон робочих температур	-5...+45 °C
Елементи живлення	2×AAA (мізинчикові батарейки)

Габаритні розміри	190×25×26 мм
Маса пристрою	160 г

Портативний течешукач Center 383 представляє клас професійного обладнання для локалізації витоків метану та інших вуглеводнів. Ключовою перевагою приладу є надвисока чутливість на рівні 5 ppm, що в поєднанні з 40-сантиметровим гнучким зондом дозволяє ефективно працювати зі складною газовою арматурою. Апаратна частина базується на мікропроцесорному керуванні, що забезпечує функції скидання фонові концентрації та моніторингу стану батарей. Система сповіщення інтегрує візуальний триколірний LED-ряд та звуковий сигнал, гучність якого корелює з інтенсивністю витоку. Пристрій характеризується високою автономністю (40 годин) та готовністю до вимірювань після 90-секундного прогріву сенсора.

У Табл.1.8 наведено характеристики портативного газоаналізатора Center 383.

Таблиця 1.8. Характеристики портативного газоаналізатора Center 383

Параметр	Технічне значення/Опис
Об'єкти виявлення	Метан, вуглеводневі горючі суміші
Поріг чутливості	5 ppm
Тип зонда	Гнучкий, нержавіюча сталь, 400 мм
Методи індикації	Світлодіодна (3 кольори), звукова (регульована)
Час підготовки до роботи	1,5 хвилини (90 с)
Режими чутливості	High/Low (перемикання користувачем)
Живлення та ресурс	4×AA (LR6), до 40 годин безперервної роботи
Вага (з батареями)	0,4 кг

На Рис.1.5 продемонстровано два принципово різних підходи до проектування газоаналітичних систем. Система на Raspberry Pi (Рис.1.5, а) зазвичай використовується в задачах, що потребують значних обчислювальних ресурсів: обробка великих масивів даних, ведення складних баз даних (SQL), робота з графічним інтерфейсом користувача або передача даних через повноцінний стеку TCP/IP. Рішення на базі МК AVR (Рис.1.5, б), як-от популярна серія ATmega, є оптимальним для створення локальних модулів детектування. Такі системи вирізняються низьким

енергоспоживанням, високою швидкістю відгуку в режимі реального часу та простотою інтеграції з напівпровідниковими сенсорами (наприклад, серії MQ).

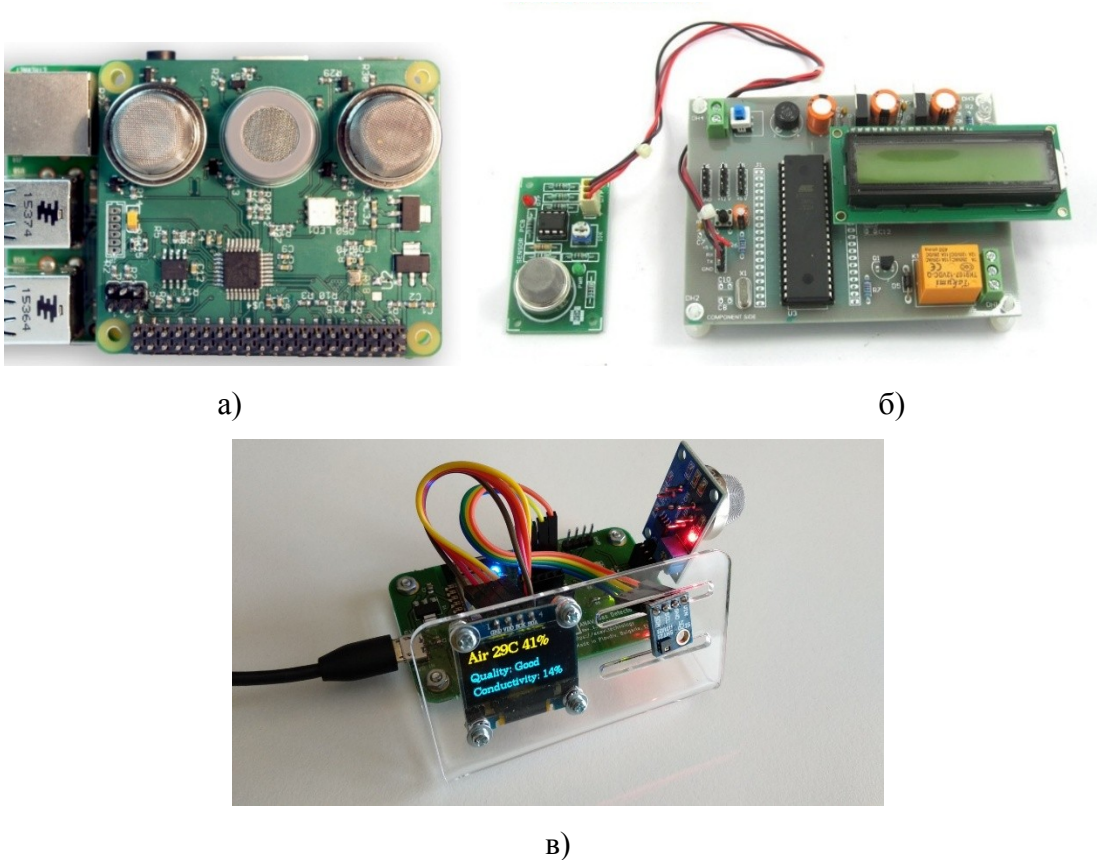


Рис. 1.5. Приклади технічної реалізації систем газового моніторингу: а) мобільний комплекс на базі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi; б) вбудована система на базі мікроконтролера архітектури AVR (Atmega); в) система моніторингу якості повітря та виявлення небезпечних газів з Wi-Fi на базі контролера ESP8266

На Рис. 1.6 зображено професійні багатоконпонентні детектори QRAE II та QRAE 3. Модель другого покоління (II) забезпечує стабільний моніторинг чотирьох основних небезпек (O_2 , H_2S , CO та пальних газів) за допомогою каталітичних та електрохімічних вузлів. Новіша модифікація QRAE 3 пропонує вибір між дифузійним методом та примусовим прокачуванням суміші насосом. Пристрій адаптований до найскладніших промислових умов, вимірюючи концентрації в ppm для H_2S , CO , HCN , SO_2 та у відсотковому співвідношенні для кисню.



Рис. 1.6. Професійні багатоконпонентні газоаналізатори з бездротовим інтерфейсом передачі даних: а) модель QRAE II; б) модель QRAE 3

На Рис.1.7 зображено детектор BW GasAlertMicroClip XT, конфігурація якого охоплює контроль O_2 , CO та H_2S , а також портативний аналізатор горючих газів Smart Sensor AR8800B. Останній використовується для детектування витоків метану та пропану. Прилади належать до класу інтелектуальних датчиків із вбудованими мікропроцесорами для обробки сигналів у реальному часі.



Рис. 1.7. Промислові портативні газоаналізатори: а) багатоконпонентний детектор BW GasAlertMicroClip XT; б) детектор витоку горючих газів Smart Sensor AR8800B

РОЗДІЛ 2

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ЗАСОБИ РОЗРОБКИ АПАРАТНОГО ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ

2.1. Програмне середовище Proteus VSM для проектування систем на мікроконтролерах

Програмний продукт Proteus VSM є передовим рішенням у сфері автоматизованого проектування електронних пристроїв. Розробка спеціалістів з Labcenter Electronics поєднує в собі гнучкий редактор схем та потужне ядро для імітаційного моделювання. Використання математичних моделей елементної бази дозволяє з високою точністю відтворювати роботу складних вузлів. Програма виділяється серед аналогів завдяки можливості спільного моделювання апаратної частини та програмного забезпечення (прошивки) для широкого спектра мікроконтролерів різних архітектур.

У середовищі Proteus реалізовано повний цикл проектування: від створення принципових електричних схем до комплексного моделювання їхньої роботи за допомогою інтегрованих віртуальних інструментів. Програма дозволяє проводити детальне налагодження програмного коду безпосередньо на моделі пристрою. Окрім інструментів симуляції, пакет містить спеціалізований модуль для трасування друкованих плат, що підтримує функцію об'ємної (3D) візуалізації готового виробу. Інструментарій Proteus забезпечує повноцінну симуляцію широкого спектра мікропроцесорних архітектур, серед яких ARM7, AVR, PIC, а також родини 8051, Motorola та Basic Stamp. Вбудована база елементів не лише містить розширені довідкові відомості про компоненти, а й підтримує роботу з популярними серіями МК, зокрема LPC2000, HC11 та іншими затребуваними на ринку чіпами. База даних Proteus налічує понад 6 тисяч моделей електронних пристроїв обох типів (аналогових і цифрових). Пакет підтримує інтеграцію з широким переліком засобів розробки ПЗ. Характерною особливістю Proteus VSM є можливість

симуляції роботи пристроїв, що містять одночасно декілька різних мікроконтролерів. Попри певні обмеження точності, властиві будь-якому методу моделювання, середовище є надійним інструментом для відпрацювання логіки роботи вбудованих систем та пошуку помилок в алгоритмах. Окрім стандартної бібліотеки, Proteus надає інструменти для створення власних компонентів. Важливою функцією є сумісність зі стандартом SPICE, що дозволяє імпортувати моделі безпосередньо від виробників напівпровідникової продукції. Таким чином, навіть якщо потрібний елемент відсутній у базовому наборі, його можна додати до проекту, завантаживши зовнішній файл опису та обравши для нього відповідний корпус. Архітектура Proteus розділена на дві функціональні частини. Перша частина, ISIS, служить для візуального проектування схем та відлагодження їхньої роботи в режимі реального часу. Після завершення етапу тестування, дані передаються до другої частини – ARES. Цей модуль призначений для професійного трасування друкованих плат; він підтримує автоматичну розстановку компонентів і використовує потужний алгоритм автотрасування ELECTRA для оптимізації провідників відповідно до створеної схеми.

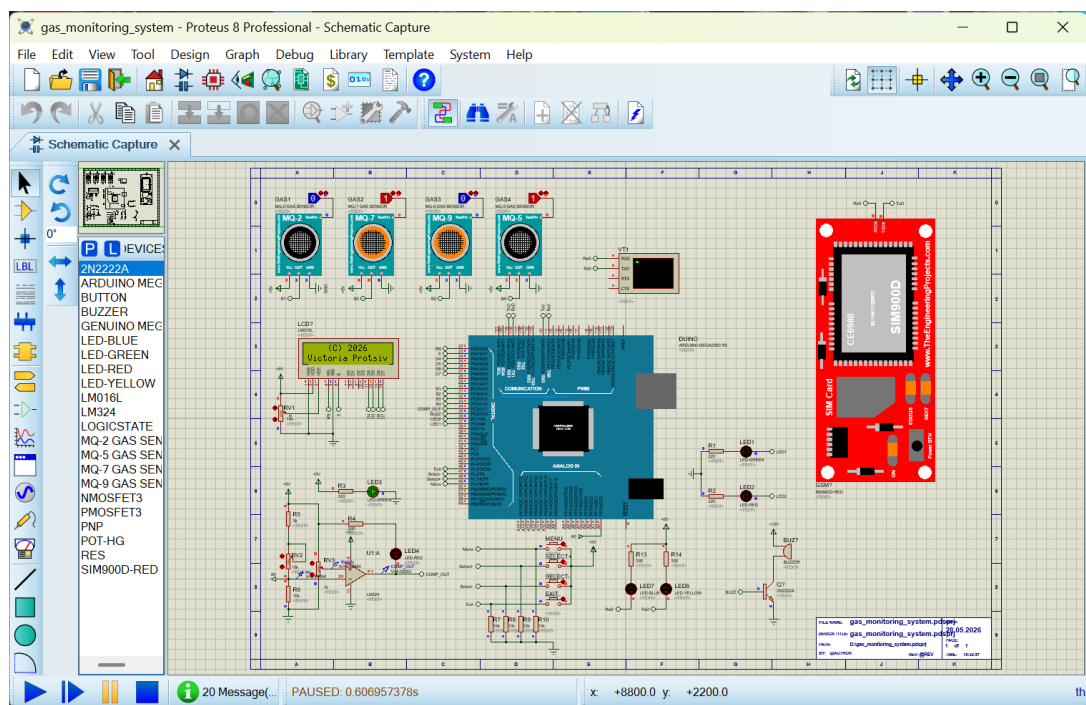


Рис. 2.1. Загальний вигляд редактора схем Proteus ISIS

2.2. Характеристика інтегрованого середовища розробки Arduino IDE

Для створення програмного забезпечення для пристроїв, що базуються на платформі Arduino, використовується спеціалізована відкрита оболонка Arduino IDE. Даний інструментарій забезпечує повний цикл розробки: від написання вихідного коду до його комбіляції та прошивки в енергонезалежну пам'ять мікроконтролера. Програмне ядро базується на мовах Processing/Wiring, що фактично є надбудовою над стандартною мовою C++, адаптованою для зручного керування периферією (портами введення-виведення). Програмний комплекс є кросплатформним і підтримує роботу в ОС Windows, Linux та macOS.

Складові компоненти робочого простору Arduino IDE. Структура робочого середовища організована для максимальної зручності розробника і складається з: робочої області, де безпосередньо здійснюється написання програмного коду; інформаційної панелі, що інформує користувача про стан поточних процесів; лог-вікна, яке деталізує технічну інформацію під час взаємодії з мікроконтролером; інструментальної панелі з кнопками швидкого виклику часто вживаних команд; системи контекстних меню, що дозволяють гнучко налаштовувати параметри компіляції та прошивки.

У середовищі Arduino для позначення програм використовується термін “скетч”. Редактор коду забезпечений функцією колірної індикації синтаксису, що полегшує написання програм. Інформаційна зона та вікно логів призначені для виводу діагностичних даних, результатів компіляції та повних звітів про помилки. Панель швидкого доступу дозволяє виконувати ключові операції: перевірку та запис коду в пам'ять МК, роботу з файловою системою, а також ініціалізацію обміну даними через послідовний інтерфейс.

Розширення стандартних функцій Arduino-проектів здійснюється шляхом підключення програмних бібліотек – спеціальних об'єктних модулів, що містять готові рішення для роботи з периферією чи даними. Основна перевага використання таких інструментів полягає в абстрагуванні від складної реалізації протоколів чи драйверів. Бібліотеки розробляються таким

чином, щоб надати користувачеві зручний інтерфейс (API) для швидкого виконання типових операцій, приховуючи при цьому внутрішню логіку роботи з регістрами мікроконтролера.

Базова конфігурація середовища розробки Arduino вже містить ряд ключових бібліотек для роботи з пам'яттю та інтерфейсами (EEPROM, SPI, I2C/Wire). Усі вони зберігаються у папці `libraries`. Для розширення можливостей середовища можна додавати нові модулі, переносячи їхні вихідні файли (`*.h` та `*.cpp`) до відповідного каталогу інсталяції. Більшість таких пакетів супроводжуються папкою `examples`, що містить готові фрагменти коду для тестування можливостей бібліотеки.

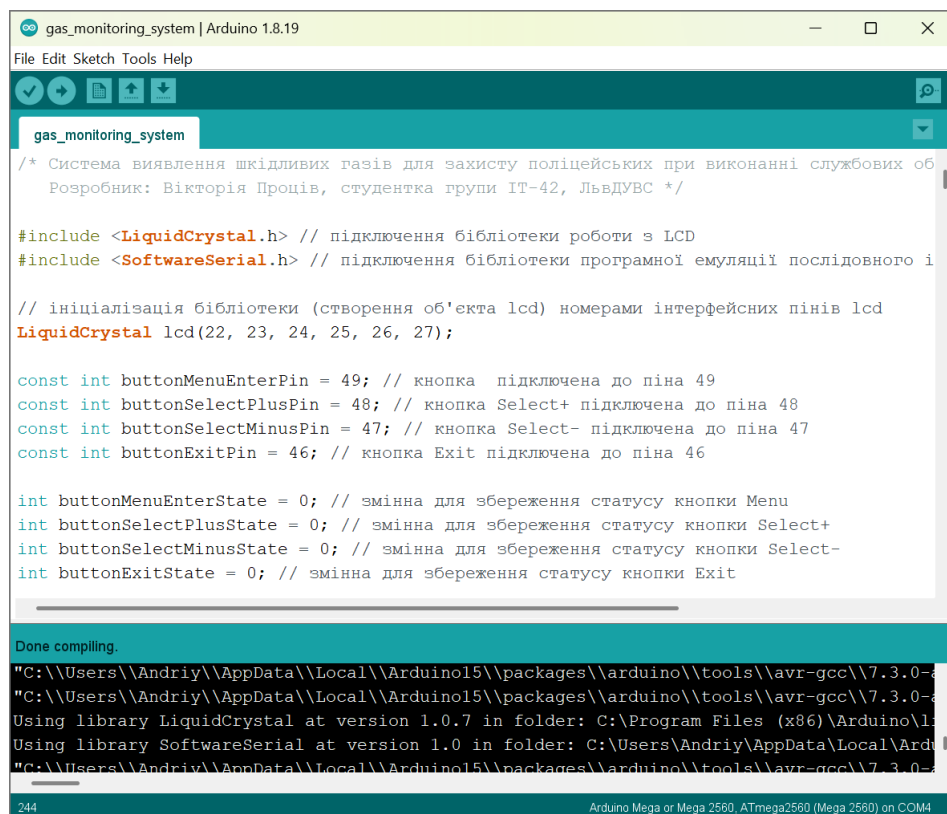
Після успішного додавання бібліотеки до структури проекту, доступ до неї відкривається через меню керування скетчами. Вибір конкретного компонента ініціює вставку інструкції `#include`, яка вказує компілятору на необхідність підключення відповідного заголовного файлу. Цей файл є ключовим, оскільки він описує всю програмну логіку та ресурси бібліотеки. Таким чином, усі інструменти бібліотеки інтегруються в проект, а під час фінальної збірки вони об'єднуються в єдиний виконуваний файл для завантаження в мікроконтролер.

Процедура завантаження відкомпільованого скетчу вимагає попереднього налаштування робочого середовища. Зокрема, у вкладці `Tools` слід визначити тип використовуваної апаратної платформи (рис. 4.4) та активний номер послідовного порту (рис. 4.5). Характерною рисою актуальних версій Arduino є програмне керування перезавантаженням під час старту прошивки. У випадку використання застарілих апаратних рішень, цей процес запускається вручну. Візуальний контроль завантаження здійснюється за допомогою вбудованих індикаторів приймання-передачі (RX/TX), які активуються в момент трансляції коду.

Використання завантажувача в екосистемі Arduino спрощує процес розробки, оскільки цей невеликий фрагмент службового коду бере на себе функції зв'язку між ПК та пам'яттю МК. Завдяки завантажувачу передача

програм здійснюється безпосередньо через USB-порт платформи. Візуальним підтвердженням роботи цього алгоритму є миготіння вбудованого світлодіода (вивід L або D13), що сигналізує про ініціалізацію або процес передачі інформації.

Моніторинг послідовного інтерфейсу служить для двостороннього зв'язку з платформою Arduino. Користувач може відправляти дані на плату, використовуючи текстовий термінал (Рис. 4.6), та приймати відповіді у реальному часі. Для стабільного з'єднання швидкість інтерфейсу в налаштуваннях вікна повинна збігатися зі швидкістю, прописаною в алгоритмі скетчу. Варто звернути увагу на особливість роботи систем на базі ядер Unix (Mac/Linux): при відкритті вікна монітора відбувається автоматичне скидання (Reset) мікроконтролера, що призводить до виконання програми з початкової точки.



```

gas_monitoring_system | Arduino 1.8.19
File Edit Sketch Tools Help
gas_monitoring_system
/* Система виявлення шкідливих газів для захисту поліцейських при виконанні службових об
Розробник: Вікторія Проців, студентка групи IT-42, ЛьвДУВС */

#include <LiquidCrystal.h> // підключення бібліотеки роботи з LCD
#include <SoftwareSerial.h> // підключення бібліотеки програмної емуляції послідовного і

// ініціалізація бібліотеки (створення об'єкта lcd) номерами інтерфейсних пінів lcd
LiquidCrystal lcd(22, 23, 24, 25, 26, 27);

const int buttonMenuEnterPin = 49; // кнопка підключена до пина 49
const int buttonSelectPlusPin = 48; // кнопка Select+ підключена до пина 48
const int buttonSelectMinusPin = 47; // кнопка Select- підключена до пина 47
const int buttonExitPin = 46; // кнопка Exit підключена до пина 46

int buttonMenuEnterState = 0; // змінна для збереження статусу кнопки Menu
int buttonSelectPlusState = 0; // змінна для збереження статусу кнопки Select+
int buttonSelectMinusState = 0; // змінна для збереження статусу кнопки Select-
int buttonExitState = 0; // змінна для збереження статусу кнопки Exit

Done compiling.
"C:\Users\Andriy\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-2
"C:\Users\Andriy\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-2
Using library LiquidCrystal at version 1.0.7 in folder: C:\Program Files (x86)\Arduino\l
Using library SoftwareSerial at version 1.0 in folder: C:\Users\Andriy\AppData\Local\Ardu
"C:\Users\Andriy\AppData\Local\Arduino15\packages\arduino\tools\avr-gcc\7.3.0-2
244 Arduino Mega or Mega 2560, ATmega2560 (Mega 2560) on COM4

```

Рис. 2.2. Інтерфейс текстового редактора скетчів у системі Arduino

РОЗДІЛ 3

АПАРATНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ

3.1. Формування специфікації елементної бази системи виявлення шкідливих газів

Апаратне забезпечення пристрою, призначеного для запобігання отруєнню правоохоронців токсичними викидами, базується на таких елементах:

- Системна плата Arduino Mega 2560 (архітектура AVR);
- Алфавітно-цифровий LCD-модуль 16x2 (HD44780);
- Комплект напівпровідникових датчиків лінійки MQ;
- Інтегральна схема LM393, що виконує роль порівнювача рівнів напруги;
- Бездротовий модуль SIM900 для організації каналу зв'язку через GSM-мережу.

Платформа Arduino представляє собою бренд, що об'єднує програмні та апаратні рішення для створення систем керування та робототехніки. Її ключовою особливістю є орієнтація на простоту використання та доступність. Софт-частина базується на безкоштовному середовищі програмування, де реалізовано весь цикл розробки – від написання коду до його інсталяції в залізо. Апаратний сегмент складається з широкого спектру готових модулів. Відкрита природа архітектури сприяє глобальному розвитку лінійки продуктів, дозволяючи створювати на базі Arduino індивідуальні технічні рішення без обмежень на копіювання чи модифікацію. Класифікація та модельний ряд плат платформи Arduino:

- Сучасна лінійка Arduino представлена широким спектром модифікацій, що розрізняються за продуктивністю, габаритами та функціональним призначенням:

- **Arduino Due:** Високопродуктивне рішення, побудоване на 32-бітному ядрі ARM Cortex-M3 (мікропроцесор SAM3X8E), призначене для складних обчислювальних завдань.
- **Arduino Leonardo:** Контролер на базі ATmega32U4, характерною рисою якого є вбудована підтримка USB-з'єднання, що дозволяє платі імітувати пристрої введення (мишу або клавіатуру).
- **Arduino Uno:** Еталонна модель та найбільш розповсюджена версія платформи, яка вважається стандартом для базових проектів.
- **Arduino Mega 2560:** Потужна плата на базі ATmega2560 з розширеною кількістю входів/виходів. Для забезпечення зв'язку по USB використовується допоміжний чіп ATmega8U2 (або 16U2).
- **Arduino Nano:** Малогабаритна платформа, для встановлення на макетні плати. Зв'язок із ПК здійснюється через інтерфейс USB Mini-B.
- **Arduino Mega ADK:** Спеціалізована версія моделі Mega 2560, оснащена USB-хостом для інтеграції з Android-пристроями та іншою периферією.
- **Arduino Fio:** Оптимізована для бездротових мереж; має посадкове місце під модуль XBee, роз'єм для літій-полімерних акумуляторів та інтегрований контролер заряду.
- **Arduino LilyPad:** Гнучка платформа з унікальним дизайном, розроблена для створення "розумного" одягу та інтеграції в текстильні вироби.
- **Arduino BT:** Модифікація з інтегрованим модулем Bluetooth, що дозволяє виконувати бездротове програмування та обмін даними.
- **Arduino Pro Mini та Pro:** Професійні версії з мінімалістичним дизайном (без вбудованого USB-інтерфейсу), орієнтовані на досвідчених розробників для вбудовування в готові комерційні чи промислові пристрої.
- **Arduino Mini:** Найбільш компактний представник сімейства, призначений для проектів з жорсткими обмеженнями щодо вільного простору.

- Архівні моделі (Duemilanove, Diecimila, Mega 1280): Попередні покоління платформ на базі чіпів ATmega168, ATmega328 або ATmega1280, що заклали основу сучасної архітектури Arduino.

Arduino Mega2560. Arduino Mega 2560 (зовнішній вигляд наведено на Рис. 2.6) базується на потужному 8-бітному мікроконтролері ATmega2560. Ця платформа є розширеною версією лінійки Arduino, що вирізняється значною кількістю портів введення-виведення та збільшеним об'ємом пам'яті, що робить її оптимальним вибором для складних проєктів, таких як багатокомпонентні інформаційно-вимірювальні системи.



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд мікроконтролерної платформи Arduino Mega 2560

Технічні параметри та експлуатаційні можливості обчислювальної платформи Arduino Mega 2560 систематизовано та представлено у Табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Технічна специфікація мікроконтролерного модуля Arduino Mega 2560

Параметр конфігурації	Технічні дані та показники
Центральний процесор	ATmega2560 (архітектура AVR)
Рівень логічної напруги	5 В
Діапазон живлення (рекомендований)	від 7 до 12 В
Гранично допустима напруга живлення	від 6 до 20 В
Загальна кількість цифрових портів (I/O)	54 (включаючи 15 каналів з підтримкою ШІМ)
Кількість аналогових каналів (ADC)	16
Максимальне струмове навантаження на піни	до 40 мА
Допустимий струм для лінії 3.3 В	50 мА

Енергонезалежна пам'ять програм (Flash)	256 КБ (8 КБ зарезервовано під bootloader)
Оперативна пам'ять (SRAM)	8 КБ
Вбудована пам'ять даних (EEPROM)	4 КБ
Робоча тактова частота	16 МГц

3.2. Технічні особливості та класифікація сенсорів лінійки MQ

На сучасному ринку радіоелектронних компонентів представлено велику кількість засобів детекції газових середовищ. Серед них найбільш затребуваними є напівпровідникові сенсори серії MQ. Популярність цієї лінійки обумовлена насамперед їхньою економічною доступністю та простотою інтеграції в мікроконтролерні системи. Давачі MQ являють собою бюджетні вимірювальні пристрої, здатні ідентифікувати концентрацію різноманітних токсичних та горючих газів, характерних для промислових і побутових зон. Перелік основних модифікацій сенсорів цієї серії та їхнє цільове призначення систематизовано у Табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Специфікація та функціональне призначення сенсорів MQ

Модель сенсора	Цільові речовини та сполуки для детекції
MQ-2	Продукти горіння (дим), горючі гази, зріджений нафтовий газ (LPG)
MQ-3, MQ-303A	Етиловий спирт, пари алкоголю (використовуються в алкотестерах)
MQ-4	Природний газ, метан (CH ₄)
MQ-7	Монооксид вуглецю (CO, чадний газ)
MQ-8	Молекулярний водень (H ₂)
MQ-9	Чадний газ, суміші метану та зріджених вуглеводневих газів
MQ-131	Озон (O ₃)
MQ-135	Бензол, аміак, сульфідні, пари спирту та концентрація диму
MQ-136	Сірководень (H ₂ S, сульфідний газ)
MQ-137	Аміак (NH ₃)
MQ-138	Органічні розчинники (бензол, толуол, ацетон), пропан, спирти
MQ-214	Високочутливий до метану та природних газів
MQ-216	Промислові гази (кам'яновугільний, світильний) та природний газ
MQ-306A	Пропан-бутанові суміші, зріджений нафтовий газ
MQ-307A	Монооксид вуглецю (оптимізований для низького споживання)
MQ-309A	Суміші горючих газів та оксиду вуглецю
MG-811	Діоксид вуглецю (CO ₂ , вуглекислий газ)

Конструкція сенсорів серії MQ базується на поєднанні напівпровідникового чутливого елемента та інтегрованого мікронагрівача. Робота пристрою ґрунтується на зміні електричного опору діоксиду олова (SnO_2) або іншого активного шару під впливом молекул досліджуваного газу. Хімічна взаємодія (адсорбція) між компонентами газової суміші та поверхнею підкладки призводить до варіювання її провідності. Для забезпечення стабільності хімічних процесів та відновлюваності властивостей детектора, робоча зона повинна постійно перебувати у розігрітому стані, що реалізується за допомогою внутрішнього нагрівального елемента.

Сенсор складається з керамічної підкладки, на яку нанесено активний матеріал, внутрішнього нагрівального елемента та системи вивідних контактів (Рис.3.2). Зовнішня частина пристрою захищена металевою дрібнодисперсною сіткою. Таке рішення є критично важливим, оскільки робоча зона сенсора нагрівається до високих температур, що в поєднанні з наявністю горючих газів (наприклад, CO або метану) створює ризик займання. Ідея використання металевої сітки для ізоляції джерел тепла у вибухонебезпечному просторі належить Гемфрі Деві, який впровадив цю технологію для безпеки шахтарів ще на початку XIX століття.

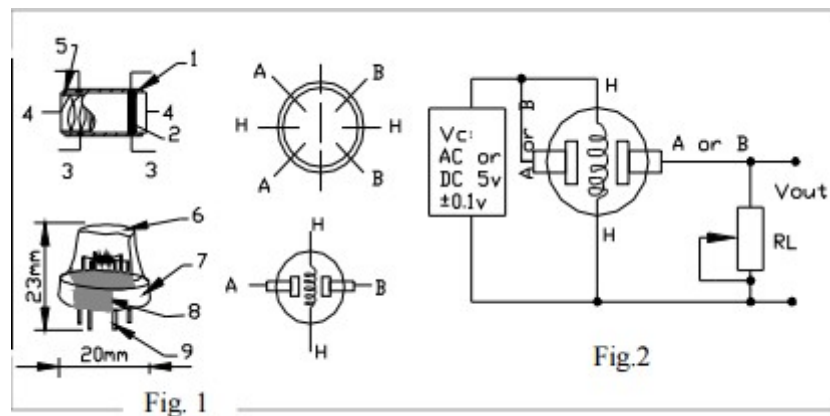


Рис. 3.2. Будова та основні елементи газового сенсора сімейства MQ

Незважаючи на велику кількість виробників друкованих плат (модулів) для інтеграції газових датчиків, ключовим постачальником сенсорних компонентів лінійки MQ залишається компанія Hanwei Electronics Group Corporation. Цей виробник займає провідні позиції у сфері розробки засобів

детекції шкідливих речовин, забезпечуючи ринок широким вибором пристроїв для контролю складу газових сумішей.

Спираючись на технічну документацію корпорації Hanwei Electronics, основні характеристики найбільш затребуваних сенсорів лінійки MQ, включаючи склад активного шару та перелік цільових газів, було систематизовано у Табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Хімічний склад активного шару та цільові середовища сенсорів MQ

Модель сенсора	Цільовий газ/середовище	Матеріал чутливої підкладки
MQ-2	Зріджений нафтовий газ (LPG), дим	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-3	Пари етилового спирту	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-4	Метан (CH ₄)	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-5	Природний газ, зріджений нафтовий газ	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-6	Пропан, зріджений нафтовий газ	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-7	Монооксид вуглецю (CO)	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-9	Суміш метану та LPG	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-131	Озон (O ₃)	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-135	Моніторинг якості повітря (NH ₃ , бензол)	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-136	Сірководень (H ₂ S)	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-137	Аміак (NH ₃)	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-138	Органічні пари (багатоцільовий)	Диоксид олова (SnO ₂)
MQ-303A	Пари алкоголю	Напівпровідниковий оксид металу
MQ-306	Зріджений природний та нафтовий газ	Напівпровідниковий оксид металу

Майже всі сенсори лінійки MQ (за виключенням 300-ї серії) базуються на використанні ідентичного матеріалу активної підкладки. Саме цей напівпровідниковий шар виконує функцію первинного перетворювача, змінюючи свій електричний опір пропорційно до концентрації детектуваних газів у навколишньому просторі. Таким чином, основний фізико-хімічний механізм детекції залишається уніфікованим для більшості моделей, тоді як у специфікаціях датчиків 300-ї серії детальні відомості про склад чутливого матеріалу виробником не розголошуються.

Попри конструктивну подібність та уніфікацію чутливих елементів, сенсори лінійки MQ не є ідентичними. Основні відмінності полягають у

геометричних параметрах корпусів, а також у специфічних експлуатаційних характеристиках, зокрема – у рівні напруги живлення нагрівального елемента. Процес детекції концентрації газу можна реалізувати шляхом прямого вимірювання динамічного опору сенсора за допомогою омметра. Проте для інтеграції в мікроконтролерні системи зазвичай застосовують схему з навантажувальним резистором, що дозволяє перетворювати зміну опору на варіації вихідної напруги. Типові схеми такого підключення регламентуються технічною документацією (datasheet) виробника для кожної конкретної моделі.

Важливо враховувати, що напівпровідникові сенсори мають обмежений експлуатаційний ресурс, який у середньому становить близько 5 років. Цей термін обчислюється з моменту виготовлення, включаючи період складського зберігання. Відсутність герметичного пакування суттєво скорочує життєвий цикл пристрою. У пасивному стані (без прогріву) адсорбційний шар насичується домішками та сполуками вуглецю, що призводить до поступової деградації оксиду олова (IV). З огляду на це, перед початком експлуатації нових датчиків необхідно провести процедуру термічної стабілізації (“прогріву”) протягом 24–48 годин. Це дозволяє очистити робочу поверхню від накопичених забруднень шляхом їх випалювання, що значно підвищує точність подальших вимірювань.

Аналіз номенклатури детектуваних газів свідчить, що більшість сенсорів MQ орієнтовані на виявлення вуглецевмісних сполук (метан, пропан, монооксид вуглецю, пари спиртів тощо). Єдиним винятком є датчик озону MQ-131, який при використанні аналогічної підкладки на основі SnO_2 працює за специфічним алгоритмом. Важливою умовою коректного функціонування всієї серії є стабільна концентрація кисню в атмосфері (на рівні 21%). Зниження частки окислювача призводить до дрейфу показів, а при критичних значеннях (менше 2%) датчик втрачає працездатність. Це пояснюється тим, що за нестачі кисню вуглецеві відкладення на підкладці не окислюються, що

блокує роботу сенсора. Ймовірно, саме на взаємодії з озоном як потужним альтернативним окислювачем базується принцип роботи моделі MQ-131.

Методика калібрування та конвертації даних у ppm. Процес отримання точних значень концентрації газу (у одиницях ppm) на базі сенсора MQ-135 детально дослідив розробник Давіде Джироні (Davide Gironi). Його підхід ґрунтується на порівнянні поточних показів із відомими фоновими значеннями газів в атмосфері. Для калібрування необхідно знати приблизну концентрацію конкретного газу в навколишньому середовищі. Використовуючи ці дані як еталон, можна підібрати опір навантажувального резистора так, щоб вихідний сигнал відповідав робочій ділянці графіка з документації (datasheet). Джироні зосередив увагу на моніторингу вуглекислого газу (CO₂). Спираючись на статистичні дані ресурсів моніторингу атмосфери (наприклад, *co2now.org*), він розрахував оптимальний номінал резистора. Хоча такий метод має певну похибку, він забезпечує прийнятну точність для аматорських та напівпрофесійних систем.

Після апаратного налаштування отримані дані обробляються програмно. Приклад розрахунку для сенсора MQ-4 виглядає наступним чином:

$$ppm = (10000,0 / 4096,0 \times raw_adc) + 200$$

Сенсори серії MQ є резистивними пристроями без складної внутрішньої електроніки, що дозволяє їм працювати як з постійним (DC), так і з змінним (AC) струмом. Ключові аспекти монтажу: 1. Зчитування даних: Аналоговий сигнал із датчика подається на АЦП-вхід мікроконтролера (наприклад, Arduino). 2. Схема з'єднання: Для забезпечення стабільної роботи рекомендується паралельне з'єднання виводів: об'єднати обидва піни групи "А" та, відповідно, обидва піни групи "В". 3. Інтерфейс: Для спрощення розробки доцільно використовувати готові модулі (шилди), які вже містять необхідну обв'язку для підключення до мікроконтролерних плат.

Відповідно до представленої схеми на Рис. 3.4, нагрівальний елемент сенсора живиться напругою +5 В через виводи групи "А". Для встановлення необхідного робочого діапазону в ланцюг включено навантажувальний

резистор. Хоча для точного калібрування доцільно використовувати потенціометр (змінний резистор), у більшості стабільних схем застосовують постійний резистор з фіксованим номіналом. Отриманий інформативний сигнал V_{out} спрямовується на аналоговий вхід мікроконтролера Arduino для подальшої обробки.

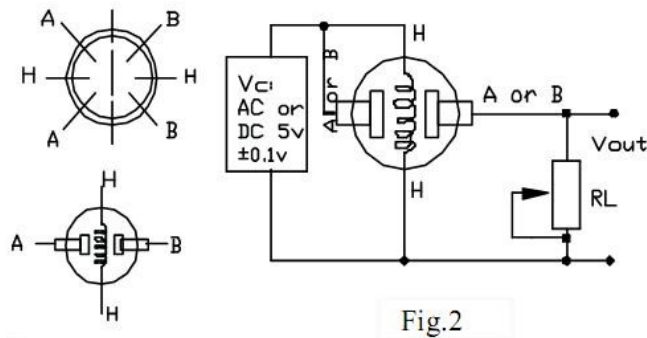


Рис. 3.4. Принципова схема підключення сенсора газу MQ-серії

Розроблена система реєстрації шкідливих викидів базується на сенсорах серії MQ, які здатні ідентифікувати наявність продуктів горіння та горючих газів. При перевищенні встановленого порогу концентрації пристрій ініціює тривожний сигнал через підключений п'єзовипромінювач (зумер).

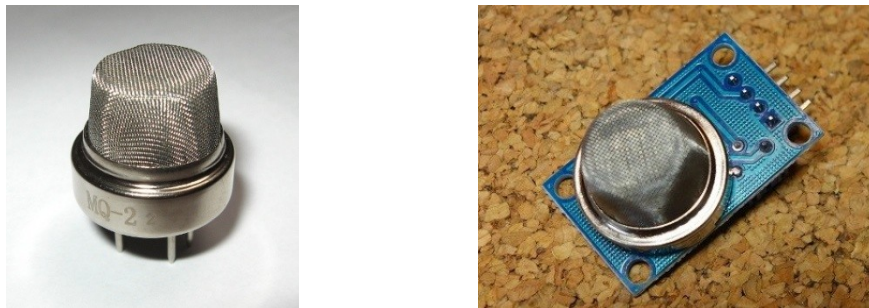


Рис. 3.5. Зовнішній вигляд та конструкція сенсора диму і горючих газів MQ-2

Сенсор серії MQ-2 характеризується високою чутливістю до продуктів горіння та широкого спектра летких сполук. Зокрема, детектуються такі речовини: вуглеводневі гази: пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), метан (CH_4) та їхні суміші (LPG); пари спиртів (Alcohol); водень (H_2); аерозольні частки (дим).

Показник внутрішнього опору сенсора варіюється залежно від хімічного складу та концентрації досліджуваного газу. Конструкція модуля передбачає наявність інтегрованого потенціометра (підлаштовного резистора), який

призначений для регулювання порогу чутливості цифрового інтерфейсу (D0). Це дозволяє адаптувати момент спрацювання компаратора відповідно до заданих вимог щодо точності детектування газових сумішей.

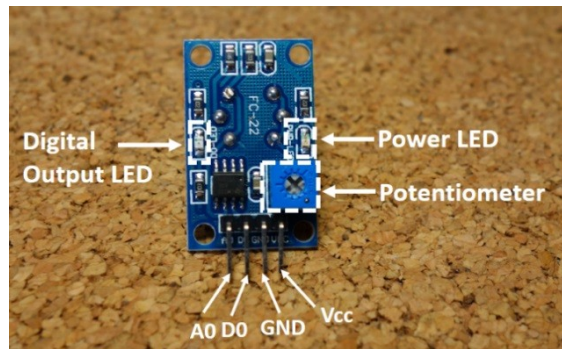


Рис. 3.6. Архітектура інтерфейсного модуля сенсорів MQ-серії

Робота газоаналізатора серії MQ ґрунтується на перетворенні рівня задимленості або газового забруднення у відповідний аналоговий сигнал. Вихідний рівень напруги корелює з обсягом газу в атмосфері за принципом прямої залежності: 1. При підвищенні щільності газу/диму на виході фіксується вищий рівень напруги. 2. За умови низької концентрації домішок вихідний сигнал характеризується мінімальними значеннями напруги.

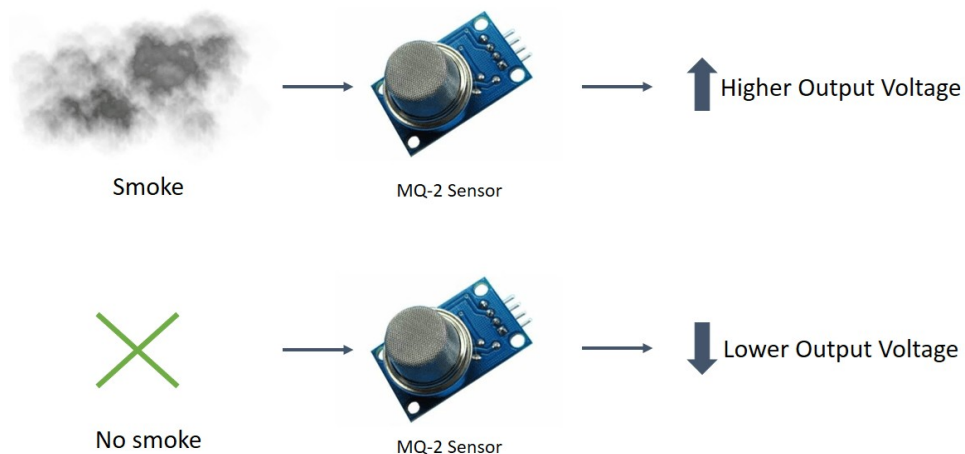


Рис. 3.7. Зміна рівня напруги на виході сенсора залежно від вмісту газу в повітрі

Конструкція сенсора передбачає наявність двох типів вихідних інтерфейсів: аналогового та цифрового. Аналоговий сигнал знімається з виводу A0 і подається на один із відповідних аналогових входів контролера Arduino для подальшої обробки АЦП. Цифровий вихід (D0) призначений для

передачі дискретного сигналу на цифровий піни мікроконтролера, що дозволяє фіксувати факт перевищення встановленого порогу. Загальна кількість функціональних виводів модуля становить 4; їх детальне призначення систематизовано в наведеній нижче таблиці.

Таблиця 3.4. Призначення виводів та схема сполучення модуля MQ-2 з контролером Arduino

Функціональне позначення піна	Інтерфейс підключення до Arduino	Опис сигналу/живлення
A0 (Analog Output)	Аналогові входи (напр., A0-A5)	Передача безперервного рівня напруги
D0 (Digital Output)	Цифрові входи (D2-D13)	Логічний сигнал порогового спрацювання
GND (Ground)	Вивід GND	Спільна шина (“земля”)
VCC (Power)	Вивід 5V	Напруга живлення модуля

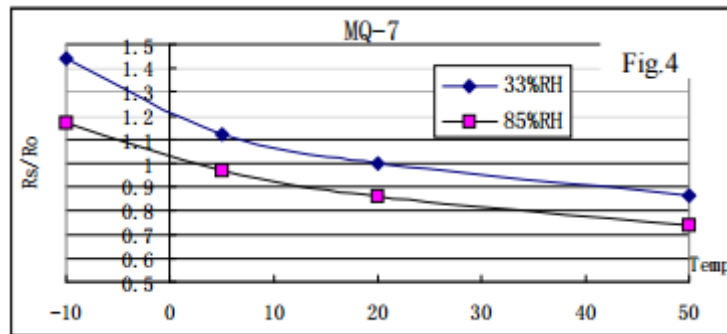


Рис. 3.8. Вплив кліматичних параметрів (температури та відносної вологості) на похибку вимірювань сенсора

На метрологічні характеристики сенсорів серії MQ суттєво впливає не лише концентрація кисню, а й параметри навколишнього середовища. Зокрема, спостерігається виражена девіація показників залежно від температури та рівня вологості повітря. Еталонні розрахункові дані в технічній документації наведені для нормальних умов: температури 20 °C та вологості 65%. Слід зазначити, що при критичних значеннях вологості (понад 95%) працездатність датчика порушується, а достовірність даних стає сумнівною. У специфікації виробника не уточнено тип вимірюваної вологості (відносна чи абсолютна), що створює певні труднощі при програмній компенсації похибок.

Окрім впливу зовнішнього середовища, на метрологічну стабільність сенсорів серії MQ суттєво впливає фактор часової деградації. Протягом експлуатації спостерігається “дрейф” показників, зумовлений поступовим забрудненням чутливого шару продуктами хімічних реакцій та зміною фізичних характеристик нагрівального елемента. Це призводить до відхилення базового опору від еталонних значень. Виробник наголошує на необхідності первинного калібрування після процедури «прогріву» (burn-in), а також регулярного перекалібрування протягом усього терміну служби пристрою. Найбільш достовірним методом корекції є порівняльний аналіз даних сенсора з показниками сертифікованого еталонного приладу.

Визначення концентрації конкретної газової домішки за допомогою сенсорів серії MQ потребує конвертації електричних величин у фізичні одиниці вимірювання. Оскільки більшість вимірювальних систем на базі Arduino оперують значеннями напруги або цифровими кодами АЦП (квантами), виникає необхідність їх перерахунку в об’ємну частку — мільйонні частки (ppm) або відсотки. Єдиним достовірним методом такої трансформації є використання логарифмічних характеристик чутливості, наведених у технічній документації (специфікації) до конкретного типу датчика.

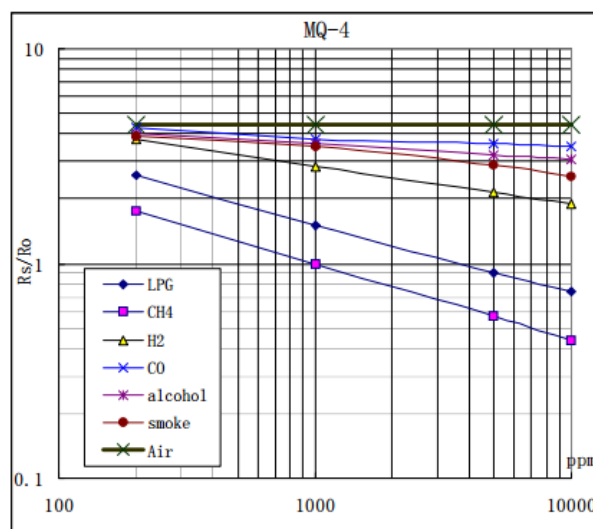


Fig.2 sensitivity characteristics of the MQ-4

Рис. 3.9. Характеристика залежності показника R_s/R_0 від об’ємної частки цільових газів (у ppm)

Аналіз графічних характеристик із технічної специфікації дозволяє зробити кілька важливих висновків. По-перше, залежність має виражений логарифмічний характер (логарифмічний масштаб по обох осях). По-друге, сенсор демонструє перехресну чутливість: окрім цільового газу, він реагує на широкий спектр супутніх вуглеводневих сполук. Встановлення точної відповідності між електричним опором і концентрацією в ppm є складним завданням, оскільки апроксимація кривої, що проходить через різні логарифмічні зони, не дозволяє розглядати її як лінійну функцію в реальних умовах експлуатації.

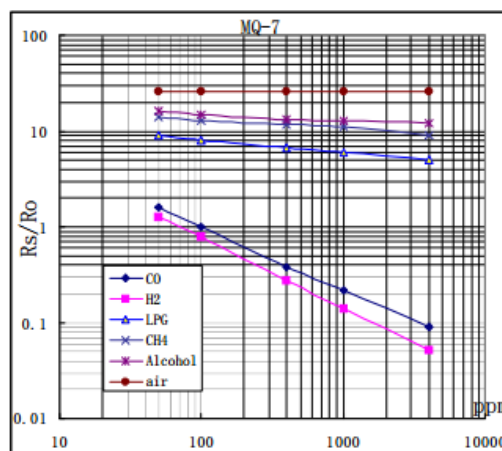


Рис. 3.10. Експериментальна залежність електричного опору сенсора від об'ємної частки аналізованих газів

Підбиваючи підсумок щодо експлуатації сенсорів серії MQ, зазначимо у Табл.3.5 їх переваги та недоліки.

Таблиця 3.5. Переваги та недоліки газоаналізаторів серії MQ

Параметр	Характеристика
Переваги	Економічна доступність, простота інтеграції з Arduino.
Селективність	Низька; спостерігається реакція на всі вуглецевовмісні сполуки.
Стабільність	Невисока; схильність до часового дрейфу та впливу середовища.
Енергоспоживання	Високе (через постійну роботу термоелемента).
Обслуговування	Потребує тривалого відпалу та систематичного перекалібрування.
Точність	Ускладнена конвертація сигналу в абсолютні одиниці (ppm).

Мінімальний варіант реалізації системи газоаналізу базується на використанні окремого сенсора MQ. Його підключення до аналогових портів

мікроконтролера потребує обов'язкового включення в ланцюг навантажувального резистора. Використання підлаштовного компонента спрощує процес калібрування системи. Рекомендовані значення опору для створення вимірювального каскаду вказані у відповідному даташиті (DataSheet).



Рис. 3.11. Конструктивне виконання сенсора газу MQ-серії

Іншим підходом до зняття даних є пряме вимірювання опору на виходах сенсора. Цей спосіб виключає етап вимірювання напруги, проте потребує подальшого перерахунку результатів у цільові показники (ppm або %) шляхом інтерполяції табличних чи графічних даних із даташиту (DataSheet) пристрою.

Аналоговий сенсор MQ. Використання готового аналогового модуля спрощує процес інтеграції, оскільки сенсор уже змонтований на друкованій платі з інтегрованим навантажувальним резистором. Така конфігурація дозволяє підключати вихід модуля безпосередньо до аналого-цифрового перетворювача (АЦП) мікроконтролера без використання додаткових зовнішніх компонентів. У даному виконанні доступним є лише моніторинг вихідної напруги, оскільки поєднання внутрішнього опору сенсора та стаціонарного резистора утворює класичну схему подільника напруги.



Рис. 3.12. Модульне виконання аналогового сенсора газу серії MQ з інтегрованою обв'язкою

Модульна конструкція аналогового сенсора значно спрощує розробку, оскільки мінімізує помилки при виборі номіналу резистивного дільника.

Наявність змінного резистора (тримера) на платі є критично важливою перевагою, оскільки вона забезпечує можливість адаптації сенсора до конкретних умов експлуатації та компенсації похибок. Моделі зі статичним резистором менш зручні в налагодженні, тому використання версій із потенціометром є більш раціональним інженерним рішенням.

Цифровий сенсор MQ. Маркування модуля як “цифрового” часто вводить користувачів в оману, оскільки він не генерує послідовний потік цифрових даних. Роль цифрового інтерфейсу в модулях MQ обмежується роботою вбудованого компаратора, який перемикає вихід D0 у стан високого логічного рівня при перевищенні заданої межі загазованості. Для отримання точних значень концентрації розробник все одно має використовувати аналоговий вихід модуля, застосовуючи стандартні методи обробки сигналу через АЦП мікроконтролера.



Рис. 3.13. Вимірювальний модуль серії MQ з комбінованим (аналоговим та цифровим) інтерфейсом

Модулі цифрових сенсорів постачаються з повною схемотехнічною обв’язкою. Високоякісні модифікації оснащені двома прецизійними потенціометрами: перший призначений для юстування навантажувального опору самого сенсора, а другий – для прецизійного встановлення порогу спрацювання компаратора цифрового виходу. Найбільш досконалі моделі додатково містять каскад підсилення сигналу. Це технічне рішення є критично важливим при значному віддаленні сенсора від мікроконтролера, оскільки дозволяє мінімізувати вплив електромагнітних перешкод та падіння напруги в довгих з’єднувальних лініях.

Цифровий сенсор MQ з цифровою шиною. Модулі з підтримкою цифрової шини I2C представляють вищий сегмент інтелектуальних сенсорів

серії MQ. Основною перевагою такої архітектури є можливість масштабування системи моніторингу шляхом підключення множини вузлів до однієї шини даних. Важливим аспектом експлуатації є розмежування ліній живлення та передачі даних: через значне споживання струму нагрівачами, живлення має подаватися від зовнішнього стабілізованого джерела, а не від шини контролера. Навантажувальний (конфігураційний) резистор інтегрований у схему для забезпечення коректного перетворення концентрації газу в цифровий код.



Рис. 3.14. Вигляд цифрового модуля сенсора MQ з інтерфейсом I2C

Аналіз демонстраційного програмного забезпечення від виробника підтверджує, що сенсор генерує дані у “сирому” форматі (raw data), які згодом підлягають програмній інтерпретації в одиниці ppm. За своєю суттю, дана модифікація відрізняється від базового аналогового варіанта лише наявністю вбудованого інтерфейсного перетворювача, який забезпечує передачу оцифрованого сигналу через цифрову шину даних. Це дозволяє перенести етап аналого-цифрового перетворення безпосередньо на сторону сенсорного модуля.

Для коректної роботи нагрівача сенсорів MQ необхідне стабільне джерело живлення, розраховане на струм не менше 150 мА на один датчик. Пряме живлення від виходів Arduino не рекомендується через ризик падіння напруги та перевантаження бортового стабілізатора. Слід враховувати термічний фактор: робоча температура сенсора становить близько 40 °С, проте стабілізатор напруги в ланцюзі живлення може нагріватися до 60–70 °С, що потребує ефективного відведення тепла для забезпечення довговічності

компонентів. Для забезпечення стабільної роботи нагрівального елемента та дотримання метрологічних характеристик сенсора, доцільно реалізувати виділену лінію живлення. Оптимальним рішенням є використання незалежного джерела стабілізованої напруги (5 В) із запасом по струму до 1–2 А. Також можливе застосування спеціалізованих модулів перетворення (наприклад, імпульсних Step-Down конвертерів), які трансформують вхідну напругу 9–12 В у необхідні для сенсорів 5 В. У випадку прямого підключення датчика до бортового стабілізатора Arduino, необхідно мінімізувати кількість інших периферійних пристроїв для запобігання критичному перевантаженню системи живлення.

3.3. Організація виведення даних на рідкокристалічний індикатор

Алфавітно-цифрові рідкокристалічні індикатори (РКІ) є раціональним та економічно вигідним рішенням, що дозволяє оптимізувати витрати ресурсів на етапі проектування. Дані модулі забезпечують візуалізацію значних масивів даних при мінімальних показниках енергоспоживання. Наявність інтегрованого підсвічування гарантує ефективну експлуатацію пристрою в умовах недостатнього або відсутнього освітлення. Широкий температурний діапазон функціонування (від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$) дозволяє використовувати такі дисплеї у складі переносної, польової та бортової апаратури, що працює у складних кліматичних умовах.

Контролер управління РКІ-дисплеями HD44780 підтримує адресацію пам'яті для виведення до 80 символів (два рядки по 40 знакомісць). У габаритних дисплеях формату 40×4 інтегруються два аналогічних контролери для забезпечення роботи всіх полів. Формування зображення символів зазвичай базується на матриці розміром 5×7 пікселів. Можливість роботи з матрицею 5×10 точок, закладена в логіку контролера, наразі практично не використовується в серійному виробництві сучасних РКІ-модулів.

На сучасному ринку компонентів представлено різноманітні типорозміри рідкокристалічних індикаторів, серед яких промисловим

стандартом вважаються модулі форматів від 8×2 до 40×4 . Гнучкість вбудованого контролера дозволяє підтримувати практично будь-яку кількість символів (до 80 одиниць), незалежно від їх розподілу по рядках. Це дає розробнику можливість вибрати оптимальний форм-фактор дисплея відповідно до вимог щодо ергономіки та обсягу виведених даних.

Модуль відображення даних LM016L побудований на базі контролера, що повністю сумісний за системою команд із популярними чипами HD44780 та KS0066. Даний РК-індикатор підтримує відображення 32 символів (конфігурація 16×2) при стандартній знакомісцевій матриці 5×8 точок. Технічною особливістю модуля є наявність вбудованої LED-підсвітки. Чіткість розділення символів гарантується наявністю міжсимвольних проміжків завширшки в один піксель, що мінімізує візуальне злиття тексту.



Рис. 3.15. Зовнішній вигляд рідкокристалічного алфавітно-цифрового індикатора Winstar WH1602B

Кожному знаку, що відображається на РКІ, відповідає певний код, який зберігається у пам'яті даних модуля. Архітектура пристрою включає два типи пам'яті: пам'ять даних індикації (DDRAM) для зберігання кодів поточних символів та пам'ять знакогенератора (CGRAM) для створення користувацьких символів. Окрім того, модуль містить спеціалізовану логіку для керування сегментами рідкокристалічної панелі.

Технічні параметри модуля на базі контролера HD44780:

- Програмне перемикання кодових таблиць: вбудоване ПЗП містить англійський та кириличний алфавіти.
- Конфігурований інтерфейс: робота по паралельній шині даних у 4-х або 8-бітному режимах для економії портів введення-виведення мікроконтролера.

- Інтерактивність: підтримка повного набору команд керування та зчитування статусу готовності контролера.
- Графічне розширення: вбудована пам'ять знакогенератора користувача дозволяє програмувати до 8 унікальних символів.
- Система індикації: наявність декількох режимів роботи курсору для полегшення навігації в меню пристрою.
- Ергономіка: інтегровані засоби керування оптичними параметрами (контрастність та яскравість фонового підсвічування).

Програмування та управління РКІ-модулем. Перш ніж перейти до аналізу алгоритмів керування РКІ-модулем, необхідно вивчити внутрішню архітектуру контролера HD44780. Це дозволить зрозуміти фундаментальні принципи функціонування дисплеїв, побудованих на його базі. Варто зазначити, що такі вузли, як знакогенератор, формувач курсора, регістри зсуву та вихідні драйвери, не є об'єктами прямої взаємодії з керуючою програмою. Їхня роль полягає в автономному забезпеченні процесів регенерації та відображення інформації на РК-панелі.

Взаємодія з контролером реалізується через інтерфейс керуючої системи, де основними елементами є регістр даних (DR) та регістр інструкцій (IR). Селекція конкретного регістра здійснюється за допомогою керуючої лінії RS (Register Select): RS=0: адресація до регістра інструкцій (IR) для передачі команд керування; RS=1: адресація до регістра даних (DR) для обміну інформацією.

Залежно від налаштованого режиму, дані через регістр DR записуються у відеопам'ять (DDRAM) або в пам'ять знакогенератора (CGRAM) за адресою, яка автоматично визначається лічильником адреси (AC). Команди, що надходять до регістра IR, обробляються вбудованим пристроєм виконання інструкцій. Пам'ять даних індикації (DDRAM) загальним обсягом 80 байтів призначена для зберігання кодів символів, що візуалізуються на дисплеї. Логічно вона організована як два рядки по 40 знакомісць у кожному. Важливою особливістю архітектури контролера є уніфікована адресація:

незалежно від фізичної конфігурації конкретного РК-модуля (наприклад, 16×2 , 20×4 або 40×1), доступ до пам'яті завжди здійснюється за схемою двох логічних рядків по 40 байтів.

Керуючий контролер забезпечує динамічне сканування матриці РКІ для оновлення зображення. Залежно від обраного режиму, логіка керування оперує 8, 11 або 16 горизонтальними лініями. При стандартній ширині у 40 символів кожна лінія об'єднує 200 інформаційних сегментів. Така організація дозволяє гнучко адаптувати контролер під різні типи знаковитезуючих панелей при збереженні стабільної частоти регенерації. Архітектура контролера HD44780 передбачає можливість каскадування для роботи з габаритними дисплеями. Оскільки власні ресурси контролера обмежені сорока сегментними лініями (достатньо для 8 символів), модулі розширеної конфігурації використовують допоміжні драйвери. Прикладом такої реалізації є мікросхема HD44100, яка функціонує як 40-бітний регістр зсуву з високовольтними виходами для безпосереднього керування рідкокристалічними сегментами. Це дозволяє створювати популярні конфігурації дисплеїв, як-от 16×2 або 40×2 .

Керування режимами роботи дисплея здійснюється шляхом модифікації внутрішніх прапорців контролера HD44780. Для інтеграції РК-модуля у загальну систему управління на мові C застосовуються високорівневі функції драйвера. Це забезпечує коректну передачу даних та інструкцій до модулів виробництва Hitachi або аналогічних пристроїв, що підтримують стандартний протокол обміну даними.

3.4. Реалізація функцій бездротового зв'язку з використанням GSM/GPRS-модуля SIMCom SIM900

Для реалізації функцій бездротового зв'язку в мікроконтролерних системах часто використовується модуль SIM900 виробництва Simcom. Його інтеграція в систему на базі Arduino базується на використанні послідовного інтерфейсу UART. Залежно від виконання, модуль може бути оснащений

логічними рівнями TTL (для роботи з МК) або перетворювачем для інтерфейсу RS232. Типова схема підключення включає лінії прийому/передачі (RX/TX) та спільну “землю”. Окрім передачі даних, плата модуля надає доступ до периферійних інтерфейсів: аудіотракту (мікрофон/гучномовець) та силових шин живлення. При проектуванні необхідно звертати увагу на специфікацію конкретної моделі, оскільки розпіновка може суттєво відрізнятись. На Рис.3.16 зображено GSM/GPRS модуль SIMCom SIM900.



Рис. 3.16. Зовнішній вигляд GSM/GPRS модуля SIMCom SIM900

При виборі засобів бездротового зв'язку для проекту основна увага приділялася простоті спряження модуля з керуючим контролером. Основним критерієм вибору стала можливість двостороннього обміну SMS-повідомленнями через послідовний інтерфейс. Серед доступних рішень найбільш доцільним є використання модулів компанії Simcom (зокрема моделей SIM800L або SIM900). Наявність виходів із рівнями транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ) гарантує апаратну сумісність із портами введення-виведення Arduino, що спрощує схемотехнічну реалізацію пристрою.

Модуль SIM900 виробництва компанії SIMCom підтримує роботу в європейському частотному стандарті GSM-900, що забезпечує стабільну комунікацію в межах вітчизняних стільникових мереж. Компанія-виробник також пропонує модифікації для інших діапазонів (850/1900 МГц), що розширює географію застосування пристроїв.

Критичним аспектом проектування є організація енергоспоживання. Попри можливість роботи деяких модулів від 5 В, використання шини живлення Arduino без додаткової стабілізації може призвести до осідань напруги. Узгодження інтерфейсів між модемом та контролером залежить від типу вихідних каскадів: TTL-рівні: пряме підключення до UART-порту мікроконтролера; RS232-інтерфейс: обов'язкове використання буферних схем (мікросхема MAX232) для трансформації рівнів напруги.

Ринок GSM-модулів представлений продукцією багатьох виробників, що зумовлює варіативність їхніх технічних характеристик, зокрема параметрів електроживлення. Залежно від схемотехнічного виконання, модулі можуть потребувати напруги 12 В (із використанням блока живлення з номінальним струмом від 1 А) або 5 В. Останні допускають можливість живлення безпосередньо від стабілізатора платформи Arduino, проте лише за умови дотримання лімітів по струму. Найбільш розповсюдженим рішенням є модем SIM900 виробництва компанії SIMCom. Даний виробник також випускає лінійку пристроїв, адаптованих для роботи в різних частотних діапазонах, включаючи 850 МГц та інші спеціалізовані стандарти.

Процес спряження GSM-модуля з платформою Arduino залежить від протоколу фізичного рівня, який використовує модем. Модулі з TTL-виходами є апаратно сумісними з мікроконтролерами, що дозволяє реалізувати безпосереднє з'єднання ліній прийому та передачі даних. У випадках, коли модуль підтримує лише стандарт RS232, пряме підключення є неприпустимим через значну різницю в рівнях напруги. Для трансляції рівнів використовується мікросхема MAX232, яка виконує роль буфера та конвертера, гарантуючи надійну передачу інформації без ризику пошкодження вхідних каскадів контролера.

Підключення GSM-модуля до МК Arduino. Фізичне спряження GSM-модуля з Arduino здійснюється через послідовний порт. Основний принцип полягає в інверсному підключенні сигнальних ліній: вихід передавача однієї системи спрямовується на вхід приймача іншої. Таким чином, конфігурація

з'єднань виглядає наступним чином: GSM_TX→Arduino_RX та GSM_RX→Arduino_TX. Обов'язковою умовою стабільної роботи є об'єднання контактів заземлення (GND). Незважаючи на простоту інтерфейсу, що складається лише з трьох провідників, він забезпечує повний контроль над модемом за допомогою AT-команд.

При використанні апаратного порту Serial (піни 0 та 1) для комунікації з GSM-модемом виникає апаратний конфлікт під час прошивки контролера. Це зумовлено тим, що мікросхема-перетворювач USB-UART на платі Arduino та зовнішній GSM-модуль одночасно намагаються керувати рівнем напруги на лінії RX. Щоб уникнути помилок завантаження (“avrdude: stk500_getsync()”), рекомендується фізично розривати з'єднання на лініях RX/TX перед завантаженням коду або використовувати метод програмної емуляції порту (SoftwareSerial) на інших цифрових виводах, що повністю усуває необхідність відключення модуля.

Для усунення конфліктів при програмуванні та розширення комунікаційних можливостей пристрою застосовується альтернативний метод підключення. Він полягає у використанні будь-якої пари цифрових виводів мікроконтролера для організації послідовного обміну даними. Технічна реалізація цього підходу базується на застосуванні стандартної бібліотеки SoftwareSerial. Даний програмний інструмент дозволяє емулювати функції апаратного UART-порту на звичайних цифрових виводах (наприклад, піни 9 та 10), забезпечуючи повноцінний прийом та передачу інформації у фоновому режимі.

Програмна реалізація алгоритму обміну SMS-повідомленнями. Для забезпечення дистанційного керування та передачі даних у проєкті розроблено програмне забезпечення на мові C++ (Arduino Sketch). В основі алгоритму лежить використання бібліотеки SoftwareSerial, яка дозволяє вивільнити апаратний UART-порт для відлагодження системи в реальному часі.

Поданий нижче код реалізує дворівневу логіку:

1. Обробка команд користувача: через монітор послідовного порту (команди 's' для відправки та 'r' для зчитування).
2. Пряма взаємодія з модемом: трансляція AT-команд та отримання відповідей від мережі.

```
#include <SoftwareSerial.h>
// Ініціалізація програмного порту: RX — пін 9, TX — пін 10
SoftwareSerial mySerial(9, 10);
void setup() {
  mySerial.begin(9600); // Встановлення швидкості обміну з GSM-модулем
  Serial.begin(9600); // Швидкість порту для моніторингу (Debug)
  delay(100);
}

void loop() {
  // Зчитування команд з клавіатури ПК
  if (Serial.available() > 0) {
    switch(Serial.read()) {
      case 's': SendMessage(); break; // Виклик функції відправки
      case 'r': RecieveMessage(); break; // Виклик функції прийому
    }
  }
  // Дублювання відповідей GSM-модуля в монітор порту
  if (mySerial.available() > 0) Serial.write(mySerial.read());
}

// Функція формування та відправки SMS
void SendMessage() {
  mySerial.println("AT+CMGF=1"); // Переведення модема в текстовий режим
  delay(1000);
  // Встановлення номера отримувача у міжнародному форматі
  mySerial.println("AT+CMGS="+380xxxxxxxxx"\r"); delay(1000);
  mySerial.println("Повідомлення з системи моніторингу"); // Текст SMS
  delay(100);
  mySerial.println((char)26); // Код CTRL+Z (кінець повідомлення)
  delay(1000);
}

// Функція налаштування автоматичного виводу вхідних SMS
void RecieveMessage() {
  // Налаштування індикації нових повідомлень (вивід тексту в UART)
  mySerial.println("AT+CNMI=2,2,0,0,0"); delay(1000);
}
```

Для керування модулем SIM900 у роботі використано стандартні команди протоколу GSM 07.07:

- AT+CMGF=1: перемикає модуль із бінарного режиму (PDU) у текстовий формат.
- AT+CMGS: ініціює процес відправки повідомлення на вказаний номер.

- `AT+CNMI=2,2,0,0,0`: налаштовує параметри індикації. У даному режимі текст вхідного повідомлення буде автоматично перенаправлено у послідовний порт відразу після отримання, без необхідності запиту до пам'яті SIM-карти.

Програмна реалізація взаємодії з GSM-модулем базується на використанні бібліотеки `SoftwareSerial`. Для цього ініціалізується об'єкт `mySerial`, де цифровий пін 9 призначається як приймач (Rx), а пін 10 – як передавач (Tx). Процес налаштування включає встановлення частоти обміну даними з модулем на рівні 9600 бод. Програма використовує стандартні методи для керування потоками даних. Команда `Serial.available()` дозволяє дізнатися, чи надіслав користувач якусь команду через термінал, тоді як `mySerial.available()` стежить за відповідями від самого GSM-модуля.

Для зчитування інформації використовуються методи `read()`, які забирають дані з пам'яті (буфера) по одному байту за раз. Щоб побачити результат роботи модуля на екрані, використовується функція виводу `Serial.write()`. Зокрема, зв'язка `Serial.write(mySerial.read())` дозволяє в реальному часі відображати все, що “відповідає” модуль на запити Arduino, пересилаючи байти з програмного порту на стандартний монітор.

Функції `SendMessage()` та `ReceiveMessage()` забезпечують надсилання та отримання даних. Робота з GSM-модулем відбувається за допомогою уніфікованих AT-команд. Ознайомлення з переліком цих команд дозволяє розширити функціональність пристрою та використовувати всі доступні опції зв'язку, передбачені виробником.

Логіка роботи функції `SendMessage()` базується на послідовному виконанні AT-інструкцій:

1. Активація SMS-режиму: Надсилання інструкції `AT+CMGF=1` через `SoftwareSerial` встановлює формат повідомлень.
2. Встановлення адресата: Використання команди `AT+CMGS=""+380xxxxxxxxx`, де замість “x” вказується цільовий номер.

3. Надсилання контенту: Після команди з номером відправляється тіло повідомлення. Щоб модуль зрозумів, що текст закінчено, програма надсилає символ `char(26)`.

Функція `ReceiveMessage()` забезпечує моніторинг вхідного трафіку SMS. Використання команди `AT+CNMI=2,2,0,0,0` з наступною затримкою в 1000 мс дозволяє системі перенаправляти вхідний текст безпосередньо на послідовний монітор Arduino IDE.

3.5. Проєктування системи виявлення шкідливих газів в Proteus VSM

Проєкт системи виявлення шкідливих газів, розроблений у Proteus VSM, спрямований на захист правоохоронців при виконанні службових обов'язків. Система реалізує повний цикл роботи: від збору даних за допомогою лінійки сенсорів MQ (кожен з сенсорів спеціалізується на виявленні конкретних типів токсичних газів або вибухонебезпечних парів) до інформування користувача через локальні (світло, звук, LCD) та віддалені (GSM/SMS) канали зв'язку. Ключовим елементом обробки сигналів є МК ATmega2560 (плата Arduino Mega). Використання такої архітектури дозволяє одночасно аналізувати дані з декількох джерел і оперативно реагувати на зміну екологічної обстановки, виводячи результати на 16x2 алфавітно-цифровий дисплей або передаючи їх через GSM-модуль SIMCom SIM900.

Схема на Рис.3.17 демонструє архітектуру системи виявлення шкідливих газів, де центральним вузлом обробки сигналів виступає МК ATmega2560. Схема відображає логічний зв'язок між блоком сенсорів серії MQ, модулями візуального та акустичного сповіщення, а також підсистемою дистанційної передачі даних через GSM-інтерфейс.



Рис. 3.17. Загальна архітектура системи виявлення небезпечних газів

На Рис.3.18 представлена повна ієрархія системи, що ілюструє взаємозв'язок між апаратною частиною та логікою обробки даних. Рисунок демонструє, як сигнали від вимірювальних сенсорів інтегруються в єдину мережу під управлінням мікроконтролера для забезпечення комплексної безпеки користувача.

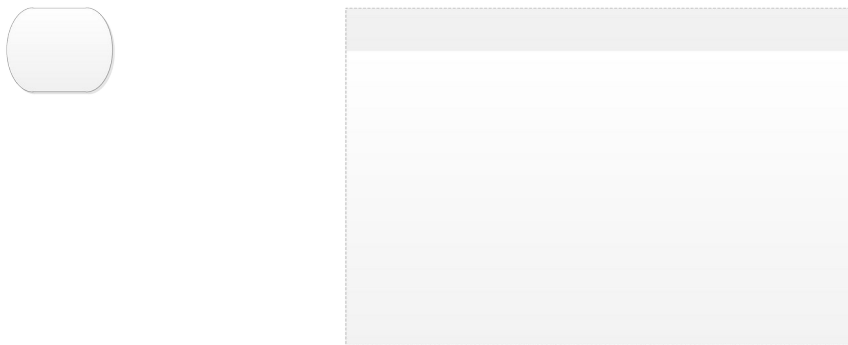


Рис. 3.18. Функціональна схема системи детектування концентрації шкідливих газів

В основу апаратної архітектури системи покладено МК ATmega2560 (платформа Arduino Mega), обчислювальні потужності якого дозволяють одночасно обробляти сигнали з розгалуженої мережі сенсорів та підтримувати роботу декількох інтерфейсів зв'язку. Моделювання системи виконано у середовищі Proteus VSM, що забезпечило верифікацію логіки взаємодії компонентів. Ключові вузли системи:

- Вимірювальний комплекс: включає сенсори серії MQ (піни 30-34) та прецизійний аналоговий вузол на базі операційного підсилювача LM324 (вхід АЦП А0), що виконує роль компаратора.
- Комунікаційні інтерфейси: реалізовано розділення потоків даних. UART0 зарезервовано для моніторингу стану на ПК, а UART1 (піни 18, 19) виділено для автономної роботи з GSM-модулем SIM900.
- Інтерфейс користувача: базується на символьному дисплеї HD44780 (порт A) та чотирикнопковій клавіатурі (порт L), що дозволяє здійснювати навігацію в меню та налаштування порогів спрацювання.

На Рис.3.19 представлена електрична принципова схема (модель) апаратної частини системи виявлення шкідливих газів спроектована в САПР Proteus VSM.

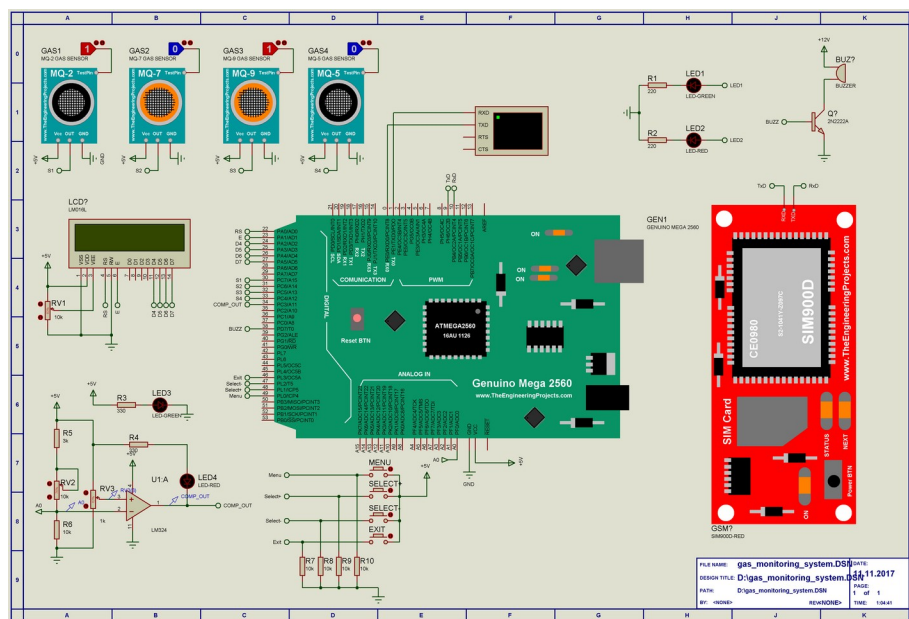


Рис. 3.19. Електрична принципова схема та модель апаратної частини системи детектування шкідливих газів

РОЗДІЛ 4

ПРОГРАМНО-АЛГОРИТМІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ ВИЯВЛЕННЯ ШКІДЛИВИХ ГАЗІВ

4.1. Алгоритм калібрування сенсорів MQ-серії

Для визначення вмісту газу в одиницях ppm застосовують алгоритм калібрування сенсорів MQ. В основі цього методу лежить перерахунок вихідних даних сенсора відповідно до його індивідуальних характеристик чутливості. Графічна інтерпретація робочих характеристик (Рис. 4.1) демонструє кореляцію між відносним опором напівпровідникового шару та кількісним показником вмісту газу (ppm). Саме ці криві є основою для розрахунку коефіцієнтів апроксимації при програмній реалізації алгоритму вимірювання.

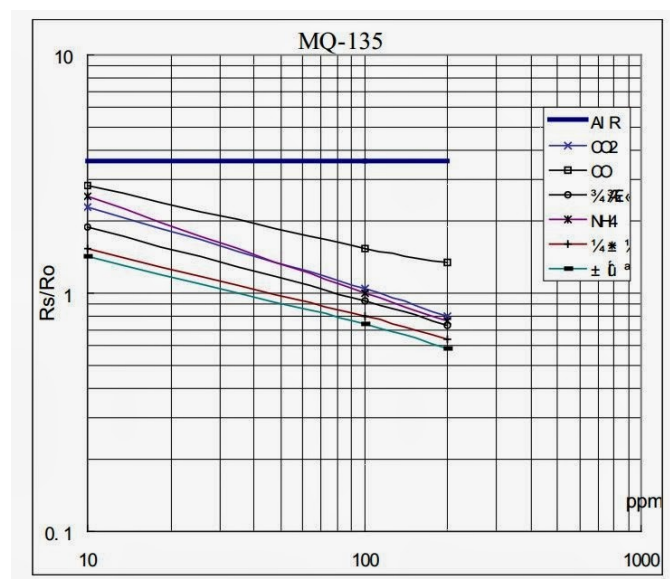


Рис. 4.1. Кореляція відносного опору R_s/R_0 та рівня концентрації домішок газу (у частках ppm)

Апроксимація кривої чутливості виконується за допомогою степеневі функції виду $y = a \cdot x^b$. У контексті газоаналізаторів це дозволяє представити концентрацію як $ppm = a \cdot (R_s/R_0)^b$. Застосування методу степеневі регресії дає змогу вичислити коефіцієнт масштабування (a) та показник степеня (b) для конкретного типу газу. Відповідно, розрахунок базового опору R_0 здійснюється за формулою:

$$R_0 = R_s \cdot \sqrt[b]{\frac{a}{ppm}} = R_s \cdot \exp\left(\frac{\ln(a/ppm)}{b}\right) \quad (4.1)$$

Процедура калібрування сенсора передбачає наявність даних про поточну концентрацію цільового газу в робочому середовищі. Вимірявши фактичний опір пристрою (R_s) за відомих умов, можна обчислити еталонний параметр R_0 . Як опорне значення для концентрації вуглекислого газу пропонується використовувати актуальні метеорологічні дані з відкритих моніторингових ресурсів.

Специфікація виробника містить дані про мінімальні та максимальні межі детектування газу. Використовуючи ці параметри, можна обчислити граничні показники відгуку сенсора (R_s/R_0), що необхідно для програмної реалізації алгоритму обробки сигналів:

$$R_s / R_{0_limit} = (ppm \cdot a^{-1})^{1/b} \quad (4.2)$$

Розглянемо процес калібрування сенсора на прикладі детектування діоксиду вуглецю (CO_2). Шляхом апроксимації експериментальних даних методом степеневої регресії була виведена наступна залежність для визначення концентрації:

$$ppm = 116,602 \cdot (R_s / R_0)^{-2,769} \quad (4.3)$$

Припустимо, що фонові концентрація CO_2 в атмосфері становить 392 ppm. Після попереднього прогріву сенсора протягом 24 годин у чистій зоні було зафіксовано поточний опір $R_s=26954$ Ом. Виходячи з цих даних, розрахункове значення базового опору R_0 склало 41763 Ом.

Технічна документація до сенсора містить обмежені відомості щодо діапазону детектування газу. Незважаючи на те, що на графіку чутливості (Рис. 4.1) відображено інтервал від 10 до 200 ppm, екстраполяція характеристик дозволяє розширити межі реєстрації до 2000 ppm. Застосований метод диференціювання демонструє високу ефективність при визначенні масштабувального коефіцієнта та показника степеня для даної моделі.

Оскільки специфікація виробника не повною мірою описує граничні можливості пристрою, за основу було взято робочий діапазон 10–2000 ppm

(при відображених на графіку 10–200 ppm). Використання математичного апарату для аналізу кривих чутливості дозволяє з достатньою точністю розрахувати експоненту та масштабний коефіцієнт, що підтверджує коректність обраного методу апроксимації.

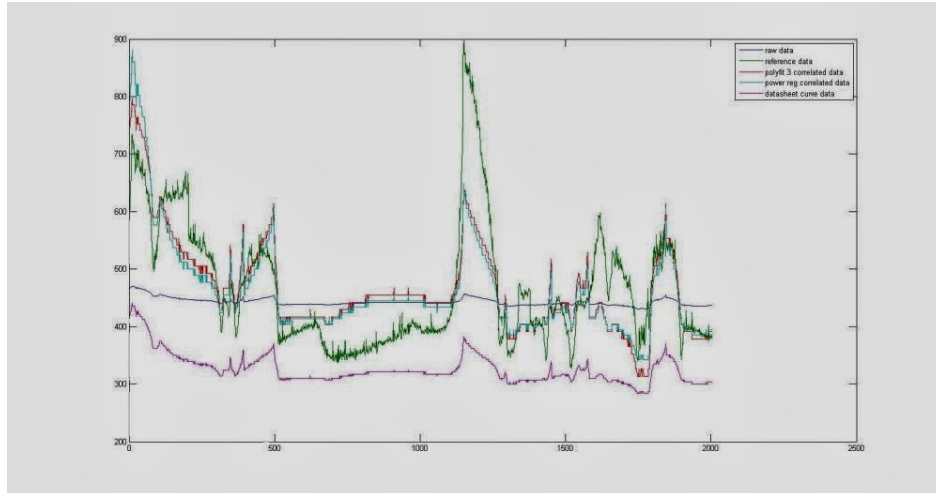


Рис. 4.2. Дослідження кореляційних залежностей сенсорів серії MQ

Результати проведеного кореляційного аналізу представлені на Рис.4.2. Обробка даних виконувалася в середовищі MATLAB із застосуванням степеневої регресії та поліноміальної апроксимації кривих. Кінцевою метою обробки є перетворення вимірних величин у значення опору для подальшого використання в алгоритмах мікроконтролера. Шляхом встановлення базового значення $R_0=41000$ Ом, у результаті експерименту було отримано масштабний коефіцієнт 56,0820 та показник степеня -5,9603. Застосування цих параметрів дозволяє значно підвищити точність відгуку вимірювальної системи.

Процедура визначення R_0 дозволяє нівелювати індивідуальні відмінності між датчиками однієї серії. В ході експерименту було отримано вихідний опір 26954 Ом. Застосовуючи нові обчислені параметри масштабування та показник степеня, фінальна формула для обчислення вмісту газу в ppm набуває вигляду:

$$ppm = a \cdot \left(\frac{R_s}{R_0} \right)^b \quad (4.4)$$

Таблиця 4.1. Параметри математичної моделі та робочі діапазони сенсорів серії MQ

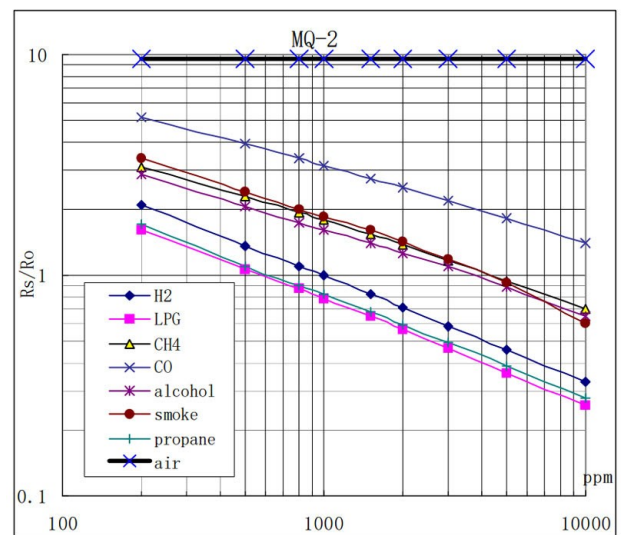
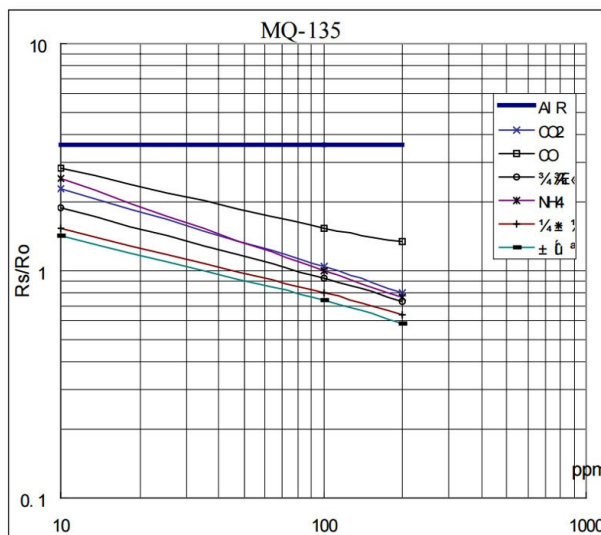
Тип сенсора	Цільовий газ	Коефіцієнт a	Показник степеня b	Мін. R_s/R_0	Макс. R_s/R_0
MQ-2	LPG (ЗВГ)	591,283	-2,077	0,256	1,685
MQ-3	Спирт	0,392	-1,493	0,114	2,498
MQ-4	Метан (CH ₄)	1041,333	-2,729	0,437	1,831
MQ-5	Метан (CH ₄)	217,497	-2,422	0,206	1,035
MQ-6	LPG (ЗВГ)	940,218	-2,522	0,392	1,847
MQ-7	Водень (H ₂)	64,865	-1,405	0,053	1,203
MQ-8	Водень (H ₂)	1079,683	-0,642	0,031	13,841
MQ-135	Вуглекислий газ (CO ₂)	110,379	-2,722	0,804	2,416

Обчислення опору газочутливого шару (R_s) базується на параметрах подільника напруги:

$$R_s = \frac{V_c - V_{RL}}{V_{RL}} \cdot R_L \quad (4.5)$$

Після отримання поточного значення R_s , для калібрування системи необхідно розрахувати базовий опір R_0 . Цей параметр визначається як функція від виміряного опору та еталонної концентрації газу в навколишньому середовищі:

$$R_0 = R_s \cdot \sqrt[b]{\frac{a}{ppm}} \quad (4.6)$$



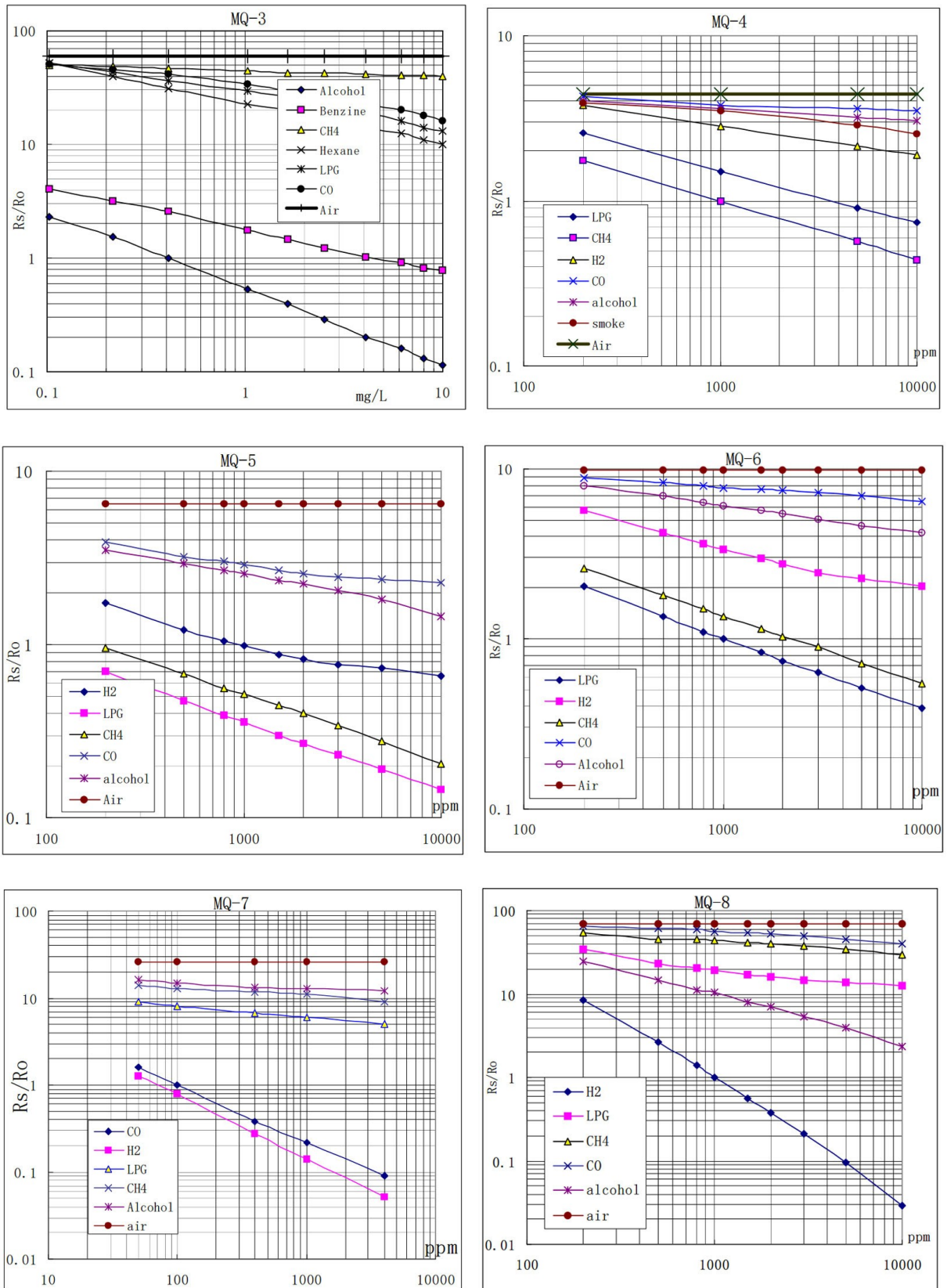


Рис. 4.3. Робочі характеристики сенсорів: сімейство кривих залежності відносного опору R_s/R_0 від концентрації цільових газів

На Рис.4.4 деталізовано логіку роботи алгоритму калібрування. Він включає етапи попереднього прогріву сенсора, зчитування поточних значень

опору R_s та подальший розрахунок базового показника R_0 на основі еталонної концентрації газу.



Рис. 4.4. Структурна схема алгоритму виконання процедури калібрування газоаналізаторів лінійки MQ

4.2. Алгоритм функціонування системи виявлення шкідливих газів

Алгоритм роботи розробленого програмного забезпечення системи виявлення шкідливих газів розрахований на безперервний моніторинг повітряного середовища, що дозволяє оперативно сповіщати поліцейського про перевищення гранично допустимих норм шкідливих речовин.

На Рис.4.5 наведено алгоритм роботи функції `setup()`, яка виконується одноразово при подачі живлення на мікроконтролер. Вона забезпечує налаштування швидкості передачі даних через UART, конфігурацію пінів введення-виведення та завантаження раніше розрахованих калібрувальних коефіцієнтів R_0 із енергонезалежної пам'яті.

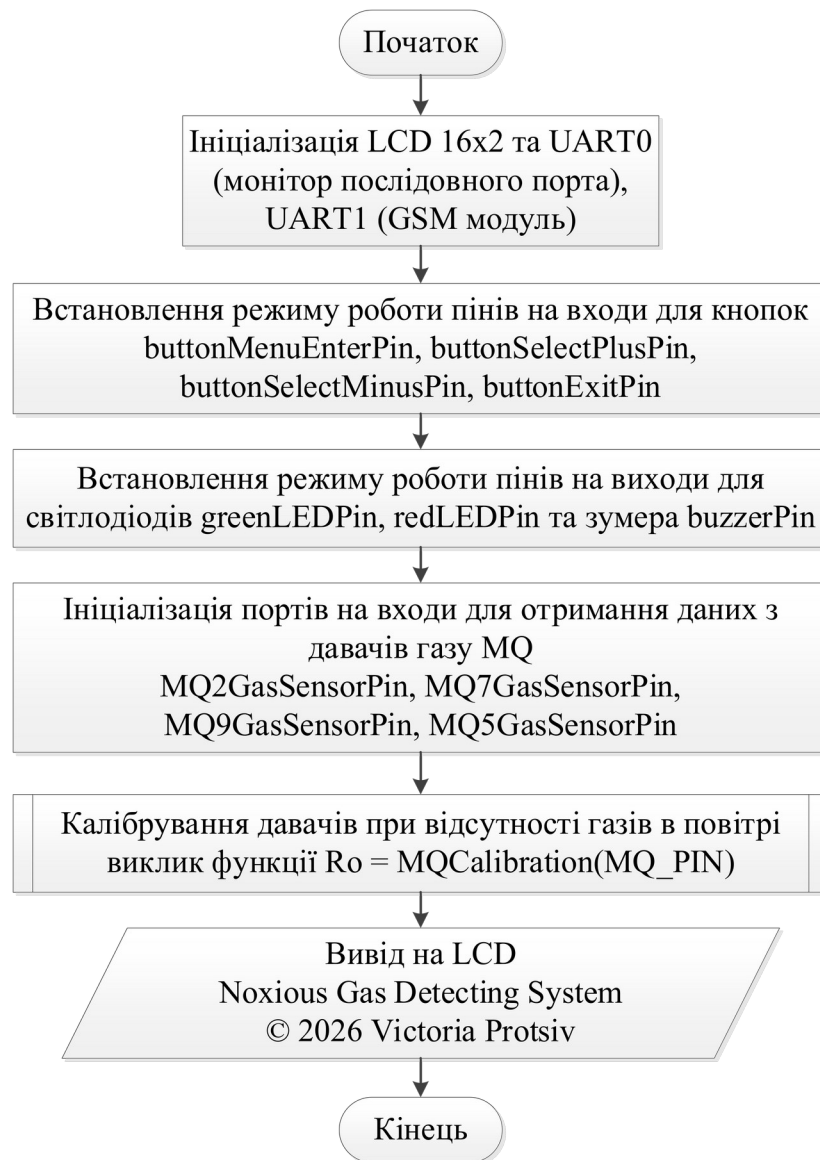


Рис. 4.5. Алгоритм ініціалізації програмно-апаратних інтерфейсів системи виявлення шкідливих газів

На Рис.4.6 представлена повна логіка функціонування вимірювального модуля. Алгоритм охоплює процес первинного калібрування, зчитування напруги з АЦП, обчислення опору R_s та подальшу трансформацію отриманих значень у об'ємну концентрацію (ppm). Фінальним етапом є перерахунок у масову концентрацію ($\text{мг}/\text{м}^3$) з урахуванням молярної маси газу та нормальних умов.

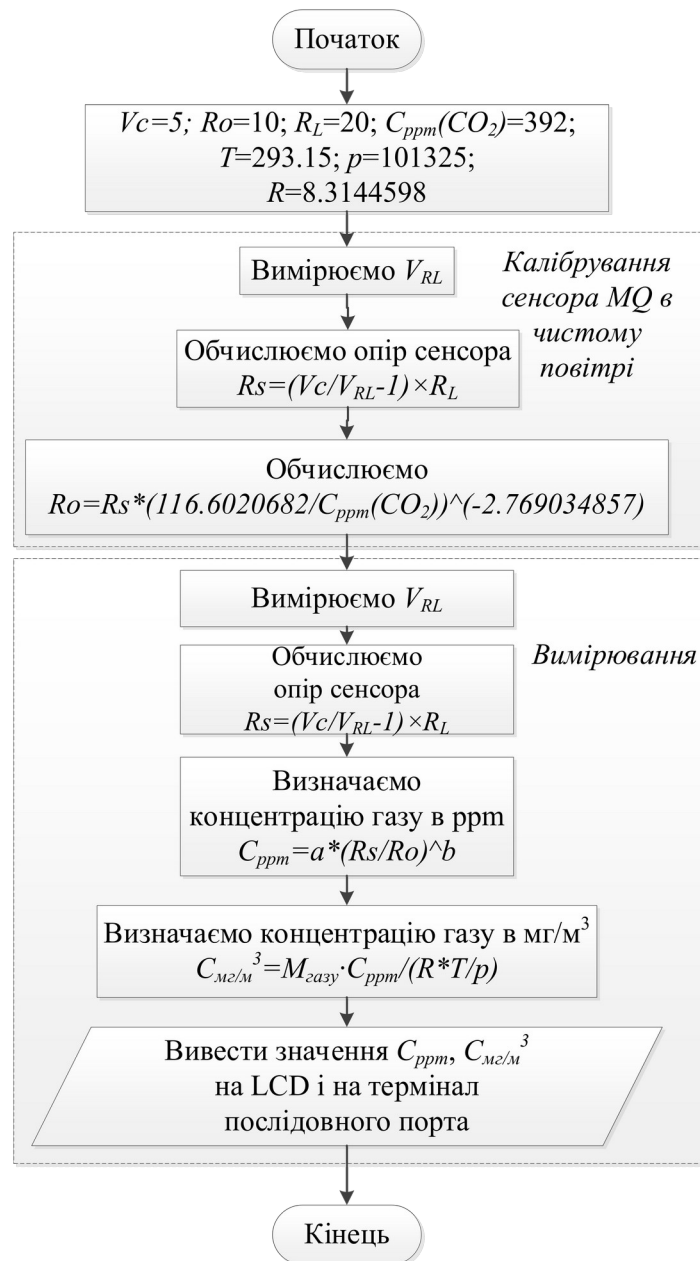


Рис. 4.6. Узагальнена блок-схема алгоритму обробки даних: від калібрування сенсора до конвертації результатів у одиниці ppm та mg/m^3

На Рис.4.7 представлена блок-схема основного циклу роботи системи. Програма здійснює безперервне зчитування даних про тип газу та його поточну концентрацію (C_{ppm} , C_{m2m^3}), забезпечуючи їх візуалізацію на LCD-дисплеї та передачу через інтерфейс UART. Ключовим елементом алгоритму є логічна перевірка умови перевищення порогового значення концентрації ($C_{ppm} > C_{ppm_threshold}$):

- У нормальному режимі (FALSE): активується зелена світлодіодна індикація (greeLED=ON), що свідчить про безпечний рівень загазованості. Статус тривоги залишається неактивним.
- У режимі тривоги (TRUE): система миттєво змінює індикацію на червону (redLED=ON), вмикає звуковий оповіщувач (buzzer) та переходить до процедури екстреного інформування.

Особливістю даного алгоритму є використання GSM-модуля, який у разі фіксації критичного рівня газу автоматично відправляє SMS-повідомлення на мобільний номер оператора (поліцейського), забезпечуючи дистанційний контроль безпеки об'єкта.



Рис. 4.7. Блок-схема програмної реалізації дворівневого сповіщення (візуального та дистанційного) при детектуванні небезпечних концентрацій газу

Після подачі живлення на пристрій ініціюється виконання програмного забезпечення, інтегрованого в пам'ять мікроконтролера платформи Arduino. Відповідно до розробленого алгоритму, першочергово виконується функція

`setup()`. Вона відповідає за конфігурацію послідовних інтерфейсів (UART0, UART1), ініціалізацію рідкокристалічного дисплея (РКД 16x2), а також призначення режимів роботи портів введення-виведення для взаємодії з кнопками керування, світлодіодними індикаторами та звуковим оповіщувачем. Завершальним етапом підготовчого циклу є процедура автоматичного калібрування сенсорів за допомогою функції `MQCalibration(MQ_PIN)`.

Опис програмних констант та конфігураційних параметрів. Для забезпечення гнучкості налаштування та стабільності роботи системи, у програмному модулі реалізовано систему макросів, що визначають апаратну конфігурацію та режими обробки сигналів. Апаратна конфігурація:

- `MQ_PIN`: Визначає номер аналогового входу мікроконтролера, до якого підключено вихідний каскад сенсора.
- `RL_VALUE`: Задає номінальний опір навантажувального резистора (20 кОм), що використовується у формулі розрахунку опору газочутливого шару R_s .
- `RO_CLEAN_AIR_FACTOR`: Коефіцієнт відношення опору датчика в чистому повітрі до базового опору R_0 . Це значення екстраполюється з графіків чутливості технічної документації (Datasheet).

Параметри фільтрації та стабілізації: Для мінімізації впливу випадкових шумів та підвищення точності вимірювань алгоритм використовує метод накопичення та усереднення даних:

- Фаза калібрування: Виконується 50 послідовних вимірювань (`CALIBRATION_SAMPLE_TIMES`) з інтервалом у 500 мс. Це забезпечує високу репрезентативність вибірки при визначенні початкового стану сенсора.
- Робочий режим: У циклі моніторингу проводиться 5 швидких замірів (`READ_SAMPLE_TIMES`) з інтервалом 50 мс, що дозволяє системі оперативно реагувати на зміну концентрації газу без значної затримки (латентності).

Ідентифікатори цільових газів: Для зручності програмної обробки та вибору відповідних коефіцієнтів регресії, кожному типу газу присвоєно унікальний числовий ідентифікатор: GAS_LPG (0) – зріджений вуглеводневий газ; GAS_CH4 (1) – метан.

Після завершення етапу калібрування система переходить до виконання основного циклу моніторингу у функції `loop()`. У цьому режимі пристрій здійснює безперервний контроль концентрації токсичних газів та парів у навколишньому середовищі. У разі фіксації перевищення встановленого порогу безпеки, програмний алгоритм ініціює перехід системи в режим тривоги з активацією відповідних засобів оповіщення.

У межах основного циклу програми функція `analogRead(analogPin)` здійснює зчитування сигналу та його подальше аналого-цифрове перетворення, формуючи цифровий еквівалент напруги V_{RL} на навантажувальному резисторі. На основі отриманого значення, а також параметрів R_L та V_c , розраховується поточний опір сенсора R_s . Шляхом застосування раніше визначених коефіцієнтів регресії обчислюється концентрація газу в одиницях ppm. Для забезпечення відповідності державним санітарним нормам виконується додатковий перерахунок у масову концентрацію (mg/m^3). Кінцеві результати (C_{ppm} , C_{mgm^3}) візуалізуються на рідкокристалічному дисплеї та передаються до терміналу персонального комп'ютера через послідовний інтерфейс.

На заключному етапі ітерації здійснюється верифікація отриманих значень концентрації на відповідність встановленим гранично допустимим межах. У разі ідентифікації перевищення порогового рівня система переходить у стан “Тривога”, зберігаючи при цьому функцію безперервного моніторингу. Програмна реалізація режиму тривоги передбачає активацію візуальної (червоний світлодіод) та акустичної (п'єзовипромінювач) індикації, виведення текстового сповіщення на РКД та одноразову відправку SMS-повідомлення через GSM-шлюз для запобігання дублюванню сигналів.

Взаємодія користувача з пристроєм реалізована через опитування цифрових входів мікроконтролера. Функція `digitalRead(buttonXXHPin)` здійснює моніторинг стану клавіш керування. При детектуванні логічної одиниці на вході `buttonMenuEnterState` (що відповідає натисненню кнопки MENU/ENTER) програма ініціює очищення рідкокристалічного дисплея та викликає процедуру `ShowMainMenu()`. Це дозволяє оператору перейти до налаштувань системи або вибору режимів роботи безпосередньо під час моніторингу.

4.2. Програмна реалізація модуля обробки даних з сенсорів газів MQ-серії

Розроблений програмний модуль базується на ієрархічній структурі функцій, що забезпечують повний цикл обробки сигналу: від отримання “сирих” даних АЦП до обчислення концентрації газу в одиницях ppm.

1. Функція розрахунку опору сенсора: `float MQResistanceCalculation(int raw_adc)`. Ця функція є базовою ланкою обробки. Вона приймає цифрове значення з АЦП, яке пропорційне напрузі на навантажувальному резисторі R_L . Оскільки сенсор та R_L включені за схемою подільника напруги, функція обчислює поточний опір газочутливого шару R_s за формулою: $R_s = R_L \cdot (V_C - V_{RL}) / V_{RL}$, де V_{RL} – напруга, отримана з АЦП, V_C – напруга живлення (5В).
2. Функція калібрування: `float MQCalibration(int mq_pin)`. Призначена для визначення базового опору R_0 у середовищі чистого повітря. Процедура передбачає серію замірів R_s та їх подальше ділення на коефіцієнт `RO_CLEAN_AIR_FACTOR`. Це значення є константою, що визначається з технічної документації на конкретний тип сенсора (зазвичай дорівнює 9,8–10,0 для чистого повітря).
3. Функція зчитування даних: `float MQRead(int mq_pin)`. Забезпечує циклічне опитування аналогового входу мікроконтролера. Для підвищення завадостійкості функція виконує серію замірів через задані

інтервали часу (конфігуруються макросами) та повертає усереднене значення опору R_s . Це дозволяє нівелювати вплив короткочасних шумів у колі сенсора.

4. Функція вибору типу газу: `int MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id)`. Виконує роль диспетчера даних. Вона приймає поточне відношення R_s/R_0 та ідентифікатор газу (`gas_id`), після чого звертається до відповідного масиву коефіцієнтів (кривої графіку) і передає їх у функцію фінального розрахунку.
5. Функція обчислення концентрації: `int MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve)` - здійснює фінальне логарифмічне перетворення. Оскільки характеристики сенсорів MQ є нелінійними і в логарифмічному масштабі представляють собою прямі лінії, функція використовує рівняння прямої за двома точками та кутовим коефіцієнтом (`slope`). Розраховане логарифмічне значення експонується (підноситься до степеня 10) для отримання результату в лінійних одиницях ppm.

4.3. Програмне керування РК-модулем відображення інформації та інтерфейсу користувача з допомогою бібліотеки LiquidCrystal

Для реалізації візуального інтерфейсу пристрою використано спеціалізовану бібліотеку `LiquidCrystal`, яка інтегрована в середовище розробки `Arduino`. Даний програмний модуль забезпечує керування рідкокристалічними індикаторами на базі контролера `Hitachi HD44780` або його функціональних аналогів. Бібліотека підтримує гнучку конфігурацію передачі даних у 4-бітному або 8-бітному режимах, що дозволяє оптимізувати використання портів введення-виведення мікроконтролера залежно від апаратної архітектури системи.

Для керування режимами роботи та виведенням інформації на РКД у програмному забезпеченні використано наступний набір методів:

- `lcd.print()` – базовий метод для візуалізації даних. Забезпечує виведення текстових рядків або значень змінних (концентрації газу), починаючи з поточної позиції курсора.
- `lcd.setCursor(Pos, Str)` – функція адресації, що встановлює курсор у визначену позицію `Pos` відповідного рядка `Str`.
- `lcd.home()` – повернення курсора у вихідну позицію (нульовий стовпець, нульовий рядок).
- `lcd.clear()` – повне очищення вмісту дисплея з поверненням курсора в позицію `home`.
- `lcd.display()/lcd.noDisplay()` – програмне увімкнення та вимкнення відображення інформації на екрані без втрати даних у буфері.
- `lcd.cursor()/lcd.noCursor()` – керування видимістю підкреслення курсора.
- `lcd.blink()/lcd.noBlink()` – активація або деактивація миготіння курсора (використовується для акцентування уваги в меню).
- `lcd.scrollDisplayLeft()/lcd.scrollDisplayRight()` – функції циклічного зсуву всієї інформації на екрані вліво або вправо, що дозволяє реалізувати ефект “рухомого рядка”.
- `lcd.leftToRight()/lcd.rightToLeft()` – встановлення вектору заповнення екрана текстом (стандартно зліва направо).
- `lcd.createChar(Adr, CH[])` – метод для розширення стандартного знакогенератора. Дозволяє записати в енергозалежну пам’ять дисплея до 8 унікальних символів (адреси 0-7), сформованих на основі матриці 5×8 пікселів, де кожен байт масиву `CH[]` відповідає за окремий рядок символу.

4.4. Розроблення керуючої логіки та інтеграція програмних модулів системи детектування газів

Програмна реалізація системи виявлення шкідливих газів базується на подієво-орієнтованій моделі, де основний цикл роботи забезпечує безперервний збір даних, їх математичну обробку та прийняття рішень у реальному часі. Центральний алгоритм (Рис. 4.7) координує взаємодію між

модулем газоаналізатора MQ, інтерфейсом візуалізації LiquidCrystal та системою дистанційного сповіщення. Логіка роботи ПЗ розділена на три функціональні стадії:

1. Стадія конфігурації (Setup): Виконується одноразово при старті системи. Включає самодіагностику компонентів, встановлення параметрів UART-з'єднання та процедуру автоматичного калібрування сенсорів для адаптації пристрою до поточного екологічного фону.
2. Стадія циклічного моніторингу (Loop): Полягає у багатоточковому опитуванні аналогових входів. Програмний модуль здійснює фільтрацію сигналу через усереднення значень, розраховує опір сенсора R_s та конвертує отримані дані в об'ємну (ppm) і масову (мг/м³) концентрації.
3. Стадія логічного контролю та оповіщення: На кожній ітерації циклу програма порівнює поточну концентрацію з гранично допустимими значеннями (ГДК). При виявленні загрози алгоритм миттєво змінює пріоритет виконання завдань, активуючи світло-звукову сигналізацію та ініціюючи відправку екстреного SMS-повідомлення через GSM-модуль.

Опис логіки роботи основного циклу програми loop(). Функція loop() реалізує безперервний цикл моніторингу газового середовища, обробку вхідних сигналів від групи сенсорів та управління засобами індикації та зв'язку. Роботу циклу можна розділити на кілька функціональних блоків:

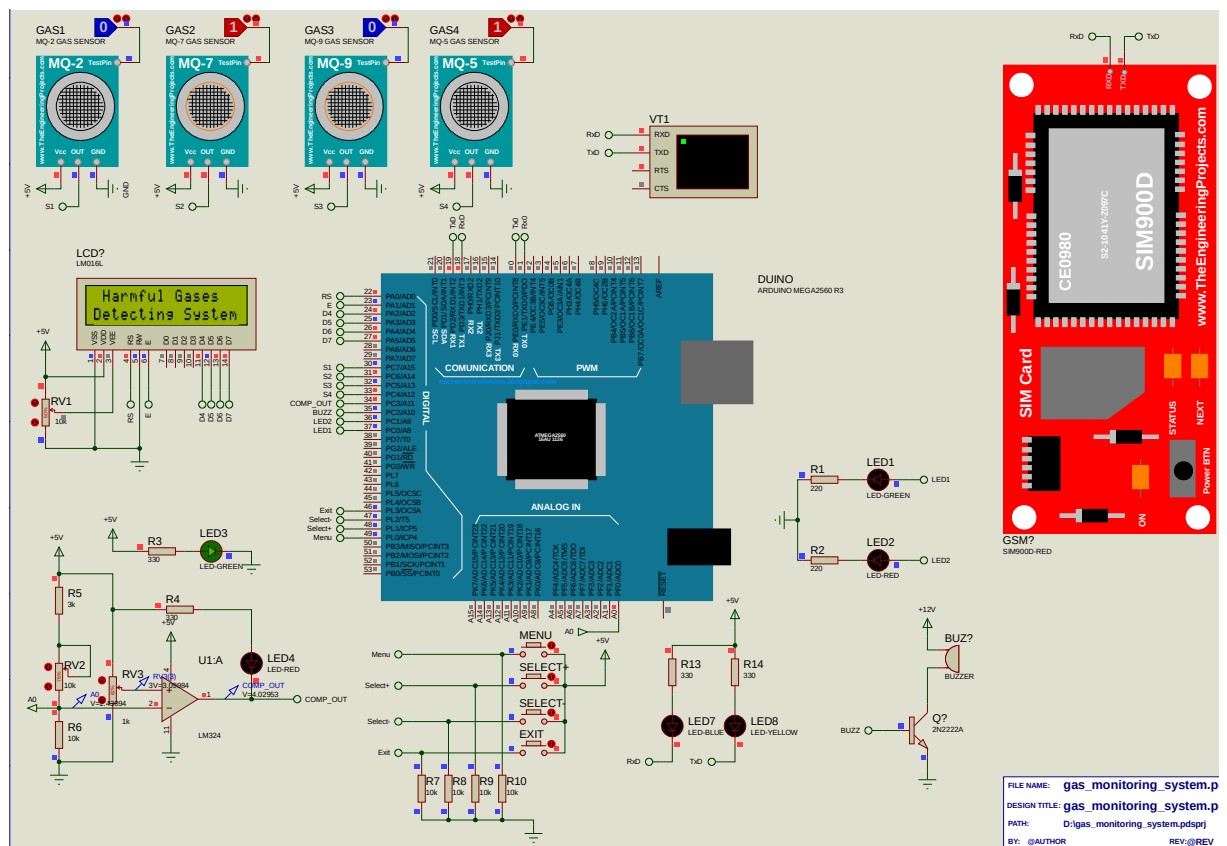
1. *Збір та первинна обробка даних.* Програма зчитує аналогове значення напруги V_{RL} з датчика. Використовується формула перерахунку цифрового значення АЦП у вольти: $V_{RL} = \text{adcValue} \cdot (5.0 / 1023.0)$. Отримані дані одразу візуалізуються на РКД у двох форматах: об'ємна концентрація (ppm) та масова концентрація (мг/м³).
2. *Обробка інтерфейсу користувача.* На кожній ітерації циклу відбувається опитування стану кнопки buttonMenuEnterPin. При детектуванні сигналу високого рівня (HIGH) викликається підпрограма ShowMainMenu(), що дозволяє оператору взаємодіяти з налаштуваннями пристрою без переривання загального циклу живлення.

3. *Логіка детектування загроз та ідентифікація сенсорів.* Особливістю алгоритму є паралельний моніторинг декількох типів газових сенсорів (MQ-2, MQ-7, MQ-9, MQ-5). Програма використовує прапорець `alarmStatus` та строкову змінну `alarmSensorId` для динамічного формування списку активних загроз. Якщо хоча б один сенсор сигналізує про перевищення норми, система накопичує їхні номери у рядок для подальшого сповіщення.
- *Система оповіщення та дистанційного інформування.* При переході в активну фазу тривоги (`alarmStatus==true`): Активується червона світлодіодна індикація та звуковий сигнал (п'єзовипромінювач на частоті 1000 Гц). На LCD-дисплей виводиться заголовок тривоги та перелік номерів сенсорів, що спрацювали.
 - *Механізм запобігання дублюванню:* SMS-повідомлення надсилається лише у випадку, якщо склад групи сенсорів, що спрацювали, змінився порівняно з попередньою ітерацією (`alarmSensorId!=str`). Це критично важливо для економії ресурсів GSM-мережі та запобігання спаму на телефон поліцейського.
4. *Режим стабілізації та зворотний зв'язок.* У разі відсутності загроз система підтримує “зелений” рівень безпеки (активний `greenLEDPin`). Додатково реалізовано моніторинг послідовного порту `Serial1` для підтвердження успішної відправки SMS-повідомлень, що підвищує надійність системи передачі даних.

4.5. Моделювання та аналіз результатів функціонування системи у середовищі Proteus ISIS

Для верифікації розробленого програмного забезпечення мікроконтролера сімейства AVR використовується файл прошивки з розширенням `.hex` або `.sof`, який інтегрується у віртуальну модель МК. Перевірка працездатності спроектованої цифрової системи, призначеної для моніторингу шкідливих газів та забезпечення безпеки особового складу

поліції, здійснюється в симуляторі Proteus ISIS. Система Proteus VSM є високотехнологічним програмним комплексом для моделювання та налагодження складних електронних пристроїв. Можливості середовища дозволяють одночасно симулювати роботу декількох мікроконтролерів різних архітектур у межах однієї схеми. Нижче наведено результати моделювання, що демонструють логіку роботи системи в різних експлуатаційних режимах. Proteus VSM – це сучасний програмний комплекс для автоматизованого проєктування (САПР) електронних схем, розроблений компанією Labcenter Electronics (Великобританія). Характерною особливістю пакета є можливість комплексного моделювання роботи програмованих пристроїв, зокрема мікроконтролерів, мікропроцесорів та цифрових сигнальних процесорів (DSP). Програмний комплекс складається з двох ключових модулів: ISIS – середовище для синтезу, інтерактивного моделювання та налагодження електронних схем; ARES – спеціалізований інструмент для проєктування та трасування друкованих плат.



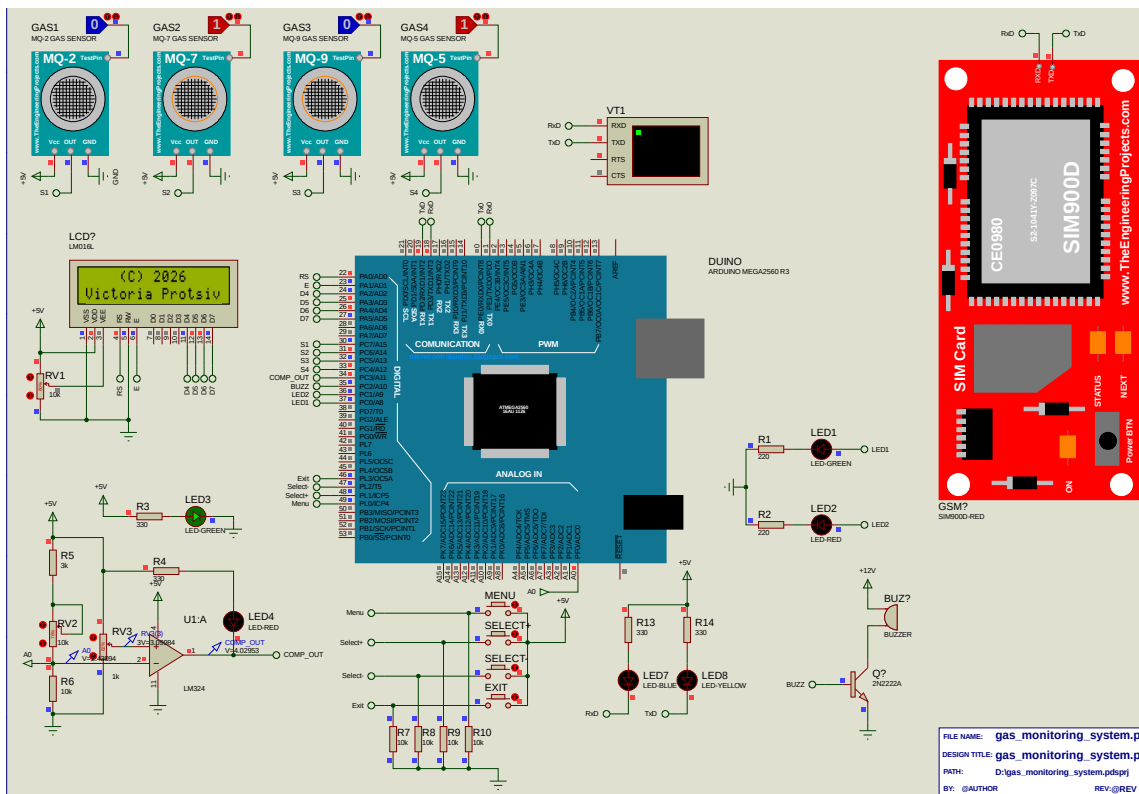


Рис. 4.8. Візуалізація режиму фонового моніторингу повітряного середовища в середовищі Proteus ISIS

У даному режимі система здійснює циклічне опитування сенсорів серії MQ. На РК-дисплеї відображаються поточні значення концентрації газів. Як свідчать результати моделювання, при показниках нижче порогових значень активується зелений світлодіод індикації норми, а GSM-модуль перебуває в режимі очікування (IDLE).

На Рис.4.9 продемонстровано реакцію системи на перевищення встановленого порогу концентрації шкідливих речовин. Згідно з алгоритмом, мікроконтролер перемикає світлодіодну індикацію з зеленого на червоний колір та активує звукове сповіщення. Одночасно з цим у вікні віртуального термінала фіксується відправка AT-команд на GSM-модуль SIM900 для передачі екстреного SMS-повідомлення на номер оператора.

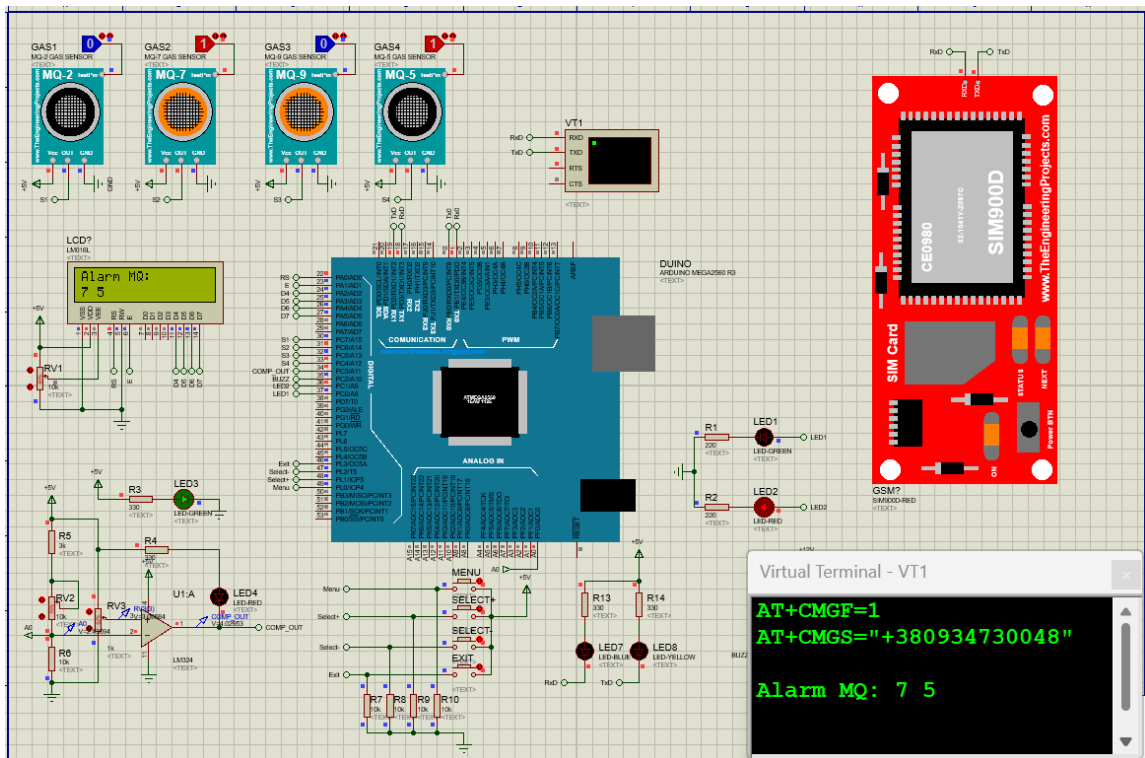
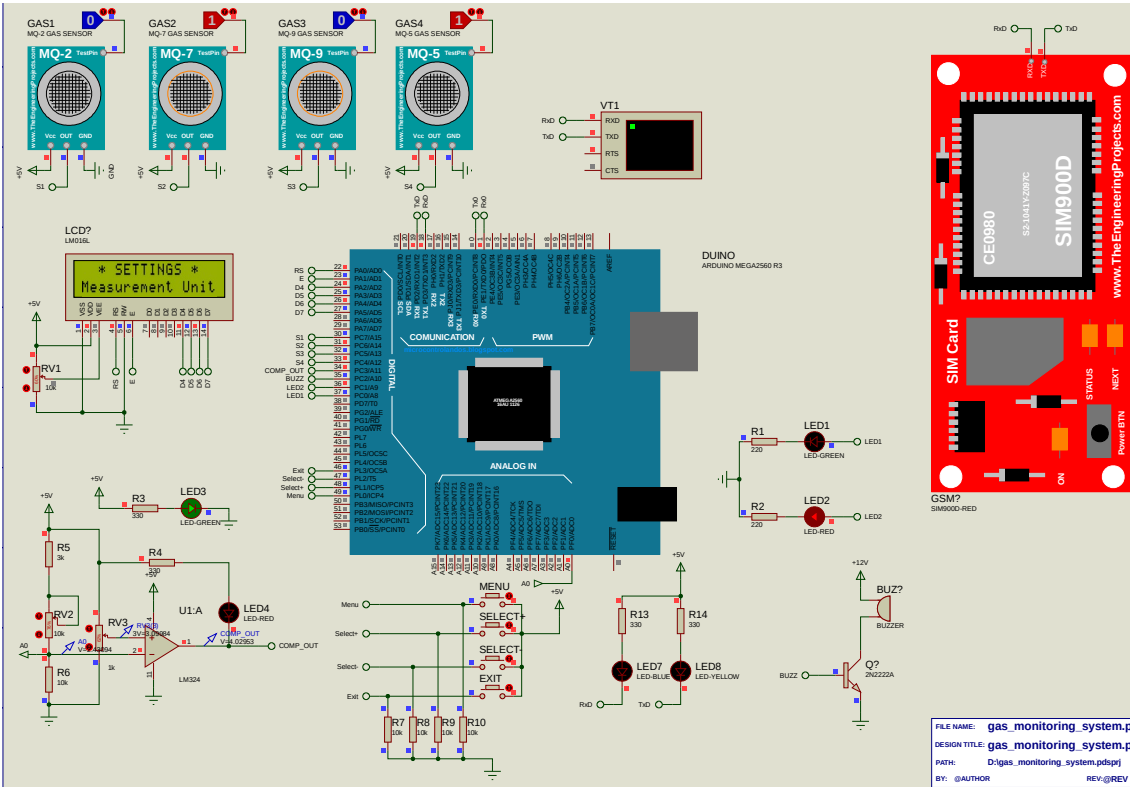
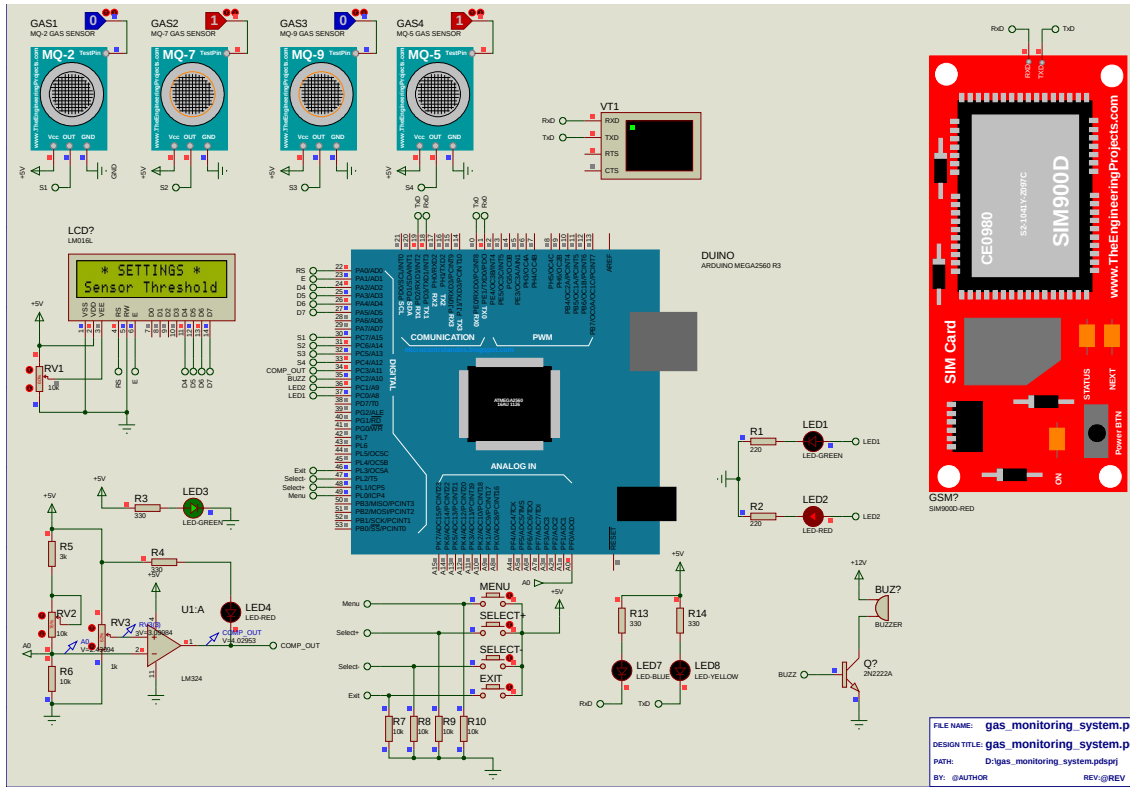


Рис. 4.9. Візуалізація режиму “Тривога” при детектуванні критичної концентрації газів (Proteus ISIS)

На Рис.4.10 зображено роботу програмного модуля керування налаштуваннями системи. За допомогою функціональних кнопок, MENU/ENTER, SELECT+, SELECT-, EXIT підключених до порту L, реалізовано можливість зміни порогів чутливості сенсорів та вибору номерів телефонів для SMS-оповіщення. Моделювання підтверджує коректну обробку натискань кнопок мікроконтролером ATmega2560 та миттєве оновлення інформації на РК-дисплеї.



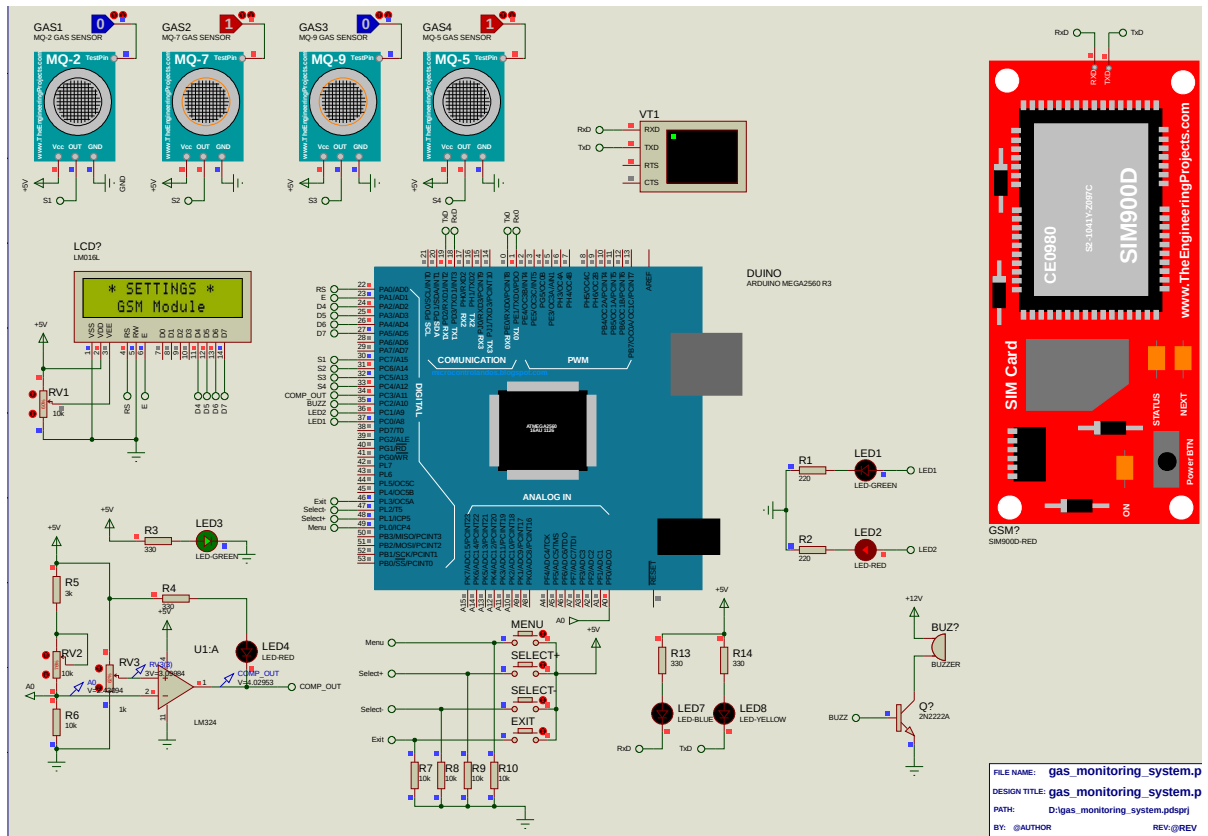


Рис. 4.10. Візуалізація інтерфейсу користувача: режим навігації меню налаштувань (Sensor Threshold, Measurement Unit, GSM Module) (Proteus ISIS)

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлено систему захисту правоохоронців, що базується на інтелектуальному моніторингу газового складу атмосфери. Пристрій автоматично розрізняє безпечний та небезпечний стан середовища, перемикаючи режими роботи з візуального моніторингу на комплексне сповіщення (звук, світло, SMS). Використання GSM-трансивера дозволяє оперативного інформувати про загрозу не лише користувача, а й віддалених абонентів, що значно підвищує рівень безпеки при виконанні службових завдань. Для реалізації проекту обрано актуальну елементну базу, що забезпечує високу точність вимірювань та стабільність зв'язку. Платформою для обробки даних слугує Arduino Mega 2560 (мікроконтролер ATmega2560). Детектування небезпечних речовин покладено на лінійку сенсорів MQ, що спеціалізуються на виявленні газів та диму. Комунікаційна складова представлена модулем SIMCom SIM900, а для візуального моніторингу інтегровано 16-символьний дворядковий РК-дисплей.

У ході виконання роботи було спроектовано електричну принципову схему та розроблено імітаційну модель системи детектування газів у середовищі Proteus VSM. На основі розробленого алгоритму функціонування було створено програмне забезпечення для мікроконтролера ATmega2560 (платформа Arduino Mega) з використанням середовища розробки Arduino IDE. Зокрема, реалізовано спеціалізовані програмні модулі для опрацювання сигналів із сенсорів газу та виведення даних на символьний рідкокристалічний дисплей.

Працездатність розробленого комплексу для детектування газових загроз була перевірена шляхом симуляції в середовищі Proteus ISIS. Отримані результати підтвердили адекватність функціонування апаратної частини та високу точність алгоритмів програмного забезпечення. Моделювання продемонструвало стабільну взаємодію всіх вузлів системи в умовах, наближених до реальних.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ozer J., Blemings H. Practical Arduino: Cool Projects for Open Source Hardware. New York: Springer-Verlag, 2009. 445 p.
2. Banzi M. Getting Started with Arduino. 2nd ed. O'Reilly Media Inc., 2011. 130 p.
3. Margolis M. Arduino Cookbook. 2nd ed. O'Reilly Media Inc., 2012. 724 p.
4. Gertz E., Di Justo P. Environmental Monitoring with Arduino: Building Simple Devices to Collect Data About the World Around Us. O'Reilly Media Inc., 2012. 96 p.
5. Melgar E. R., Diez C. C., Jaworski P. Arduino and Kinect Projects: Design, Build, Blow Their Minds. New York: Springer Science+Business Media, 2012. 411 p.
6. Evans B. Beginning Arduino Programming: Writing Code for the Most Popular Microcontroller Board in the World. Springer Science+Business Media, 2011. 271 p.
7. Purdum J. Beginning C for Arduino: Learn C Programming for the Arduino. 2nd ed. Apress, 2015. 414 p.
8. Huang B., Runberg D. The Arduino Inventor's Guide. SparkFun Electronics, 2017. 472 p.
9. Monk S. Programming Arduino Next Steps: Going Further with Sketches. 2nd ed. McGraw Hill TAB, 2018. 320 p.
10. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. 2nd ed. Wiley, 2019. 512 p.
11. Blum R. Arduino Programming in 24 Hours, Sams Teach Yourself. 1st ed. Sams Publishing, 2014. 434 p.
12. Stone M. The Complete Guide to Arduino Programming: Simple and Effective Methods to Learn Arduino Programming. Deal Michael David, 2023. 98 p.
13. Hassan S. Arduino Programming Essentials: A Practical Handbook for Makers, Engineers, and Students. Independently published, 2024. 308 p.

14. Давачі газів серії MQ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mysensors.org/build/gas> (дата звернення: 16.04.2026).
15. Електронні навчальні ресурси по Arduino [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage> (дата звернення: 16.04.2026).
16. САПР Proteus VSM [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.labcenter.com/simulation/> (дата звернення: 16.04.2026).
17. Середовище розробки Arduino IDE [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> (дата звернення: 16.04.2026).

ДОДАТКИ

Додаток 1

Програмний модуль обробки сигналів сенсорів газів серії MQ

```

/*=====
* МОДУЛЬ: Робота з напівпровідниковими сенсорами газу серії MQ
* ОПИС: Обчислення опору Rs, калібрування Ro та розрахунок концентрації ppm
* РОЗРОБНИК: Вікторія Проців
*=====*/

/*--- Апаратні константи ---*/
#define MQ_PIN          (0) // Аналоговий вхід (A0)
#define RL_VALUE        (20) // Опір навантаження (кОм)
#define RO_CLEAN_AIR_FACTOR    (10) // Відношення Rs/Ro у чистому повітрі

/*--- Програмні налаштування ---*/
#define CALIBRATION_SAMPLE_TIMES    (50) // Кількість вимірів при калібруванні
#define CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL (500) // Інтервал між замірами (мс)
#define READ_SAMPLE_INTERVAL        (50) // Інтервал у робочому режимі (мс)
#define READ_SAMPLE_TIMES            (5) // Кількість вимірів для усереднення

/*--- Ідентифікатори газів ---*/
#define GAS_LPG            (0)
#define GAS_CH4            (1)

/*--- Глобальні змінні та криві залежностей ---*/
// Формат даних кривої: {x, y, slope} (в логарифмічному масштабі)
float LPGCurve[3] = {3, 0, -0.4}; // Крива для LPG (пропан/бутан)
float CH4Curve[3] = {3.3, 0, -0.38}; // Крива для CH4 (метан)
float Ro = 10; // Базовий опір (ініціалізація)

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("System Warming Up..."));
  // Етап автоматичного калібрування сенсора
  Serial.print(F("Calibrating Ro... "));
  Ro = MQCalibration(MQ_PIN);
  Serial.println(F("Done!"));
  Serial.print(F("Calculated Ro = "));
  Serial.print(Ro);
  Serial.println(F(" kOhm"));
}

void loop() {
  float rs_ro_ratio = MQRead(MQ_PIN) / Ro;
  Serial.print(F("LPG: "));
  Serial.print(MQGetGasPercentage(rs_ro_ratio, GAS_LPG));
  Serial.print(F(" ppm | "));
  Serial.print(F("CH4: "));
  Serial.print(MQGetGasPercentage(rs_ro_ratio, GAS_CH4));
  Serial.println(F(" ppm"));
  delay(200);
}

```

```

/*--- Математичні функції обробки сигналу ---*/
// Обчислення поточного опору сенсора Rs
float MQResistanceCalculation(int raw_adc) {
    // Формула подільника напруги: Rs = RL * (V_in - V_out) / V_out
    return (((float)RL_VALUE * (1023 - raw_adc) / raw_adc));
}

// Визначення опору Ro в умовах чистого повітря
float MQCalibration(int mq_pin) {
    float val = 0;
    for (int i = 0; i < CALIBARAION_SAMPLE_TIMES; i++) {
        val += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(CALIBRATION_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    val = val / CALIBARAION_SAMPLE_TIMES;
    return val / RO_CLEAN_AIR_FACTOR;
}

// Усереднене зчитування опору Rs у робочому циклі
float MQRead(int mq_pin) {
    float rs = 0;
    for (int i = 0; i < READ_SAMPLE_TIMES; i++) {
        rs += MQResistanceCalculation(analogRead(mq_pin));
        delay(READ_SAMPLE_INTERVAL);
    }
    return (rs / READ_SAMPLE_TIMES);
}

// Диспетчер вибору кривої для конкретного газу
int MQGetGasPercentage(float rs_ro_ratio, int gas_id) {
    if (gas_id == GAS_LPG) return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, LPGCurve);
    if (gas_id == GAS_CH4) return MQGetPercentage(rs_ro_ratio, CH4Curve);
    return 0;
}

// Обчислення концентрації за логарифмічною апроксимацією
int MQGetPercentage(float rs_ro_ratio, float *pcurve) {
    // Розрахунок на основі рівняння прямої: log(y) = slope * log(x) + b
    return (pow(10, (((log10(rs_ro_ratio) - pcurve[1]) / pcurve[2]) + pcurve[0])));
}

```

Додаток 2

Лістинг коду на C/C++ основного програмного забезпечення системи виявлення шкідливих газів для захисту поліцейських при виконанні службових обов'язків

```

/* * Система виявлення шкідливих газів для захисту поліцейських
 * при виконанні службових обов'язків на платформі Arduino
 * Розробник: Вікторія Проців
 */

#include <LiquidCrystal.h>
// Ініціалізація РКД: RS, E, D4, D5, D6, D7
LiquidCrystal lcd(22, 23, 24, 25, 26, 27);

// Визначення пінів для органів керування (кнопки)
const int buttonMenuEnterPin = 49;
const int buttonSelectPlusPin = 48;
const int buttonSelectMinusPin = 47;
const int buttonExitPin = 46;

// Змінні станів кнопок
int buttonMenuEnterState = 0;
int buttonSelectPlusState = 0;
int buttonSelectMinusState = 0;
int buttonExitState = 0;

// Параметри аналогового тракту (MQ-датчик)
const int analogPin = A0;
int adcValue = 0;
float VRL = 0.0;

// Піни світло-звукової сигналізації
const int redAlarmLEDPin = 36;
const int greenLEDPin = 37;
const int buzzerPin = 35;

// Піни цифрових входів групи датчиків MQ
const int MQ2GasSensorPin = 30;
const int MQ7GasSensorPin = 31;
const int MQ9GasSensorPin = 32;
const int MQ5GasSensorPin = 33;

// Змінні станів датчиків та логіки тривоги
int MQ2GasSensorState, MQ7GasSensorState, MQ9GasSensorState, MQ5GasSensorState;
bool alarmStatus = false;
String alarmSensorId = "";
String str = "x"; // Буфер для порівняння стану SMS
String alarmMessageTitle = "Alarm MQ: ";

void setup() {
  lcd.begin(16, 2);

```

```

lcd.clear();
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.print("Noxious Gas");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Detecting System");
delay(500);
// Ініціалізація інтерфейсів зв'язку
Serial1.begin(9600); // GSM-модуль
Serial.begin(9600); // Монітор порту ПК
// Конфігурація пінів введення-виведення
pinMode(buttonMenuEnterPin, INPUT);
pinMode(buttonSelectPlusPin, INPUT);
pinMode(buttonSelectMinusPin, INPUT);
pinMode(buttonExitPin, INPUT);

pinMode(redAlarmLEDPin, OUTPUT);
pinMode(greenLEDPin, OUTPUT);
pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
pinMode(MQ2GasSensorPin, INPUT);
pinMode(MQ7GasSensorPin, INPUT);
pinMode(MQ9GasSensorPin, INPUT);
pinMode(MQ5GasSensorPin, INPUT);
}

void loop() {
// 1. Зчитування та обробка аналогових даних
adcValue = analogRead(analogPin);
VRL = adcValue * (5.0 / 1023.0);
// Візуалізація поточних показників
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(VRL + String(" ppm "));
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(VRL * 10000 + String(" mg/m3 "));
lcd.print("SMS: On");
// 2. Опитування клавіатури
buttonMenuEnterState = digitalRead(buttonMenuEnterPin);
if (buttonMenuEnterState == HIGH) {
  ShowMainMenu();
}
// 3. Логіка перевірки стану датчиків
alarmStatus = false;
alarmSensorId = "";
if (digitalRead(MQ2GasSensorPin)==HIGH) { alarmStatus=true; alarmSensorId+="2 "; }
if (digitalRead(MQ7GasSensorPin)==HIGH) { alarmStatus=true; alarmSensorId+="7 "; }
if (digitalRead(MQ9GasSensorPin)==HIGH) { alarmStatus=true; alarmSensorId+="9 "; }
if (digitalRead(MQ5GasSensorPin)==HIGH) { alarmStatus=true; alarmSensorId+="5 "; }
// 4. Обробка режиму тривоги
if (alarmStatus) {
  digitalWrite(redAlarmLEDPin, HIGH);
  digitalWrite(greenLEDPin, LOW);
  tone(buzzerPin, 1000, 200);
  lcd.clear();
}
}

```

```

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print(alarmMessageTitle);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print(alarmSensorId);
// Відправка SMS при зміні ідентифікатора датчика
if (alarmSensorId != str) {
    SendSMS(alarmMessageTitle + alarmSensorId);
    str = alarmSensorId;
}
} else {
    digitalWrite(redAlarmLEDPin, LOW);
    digitalWrite(greenLEDPin, HIGH);
    noTone(buzzerPin);
}
// Зворотний зв'язок від GSM-модуля
if (Serial1.available() > 0)
    Serial.write("GSM: " + Serial1.read());
delay(250);
}

// Функція відправки SMS-повідомлення через AT-команди
void SendSMS(String message) {
    Serial1.println("AT+CMGF=1"); // Текстовий режим
    delay(10);
    Serial1.println("AT+CMGS=\"+380XXXXXXXXXX\"r");
    delay(10);
    Serial1.println(message);
    delay(10);
    Serial1.println((char)26); // Символ завершення CTRL+Z
    delay(10);
}

// Функція реалізації інтерфейсу головного меню
void ShowMainMenu(void) {
    String menuItems[] = {"Sensor Threshold", "Measurement Unit", " GSM Module "};
    int selectedItem = 0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(2, 0);
    lcd.print("* SETTINGS *");
    while(1) {
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(menuItems[selectedItem]);
        if (digitalRead(buttonSelectPlusPin) == HIGH) {
            selectedItem = (selectedItem < 2) ? selectedItem + 1 : 0;
            delay(200); // Програмний антидребезг
        }
        if (digitalRead(buttonSelectMinusPin) == HIGH) {
            selectedItem = (selectedItem > 0) ? selectedItem - 1 : 2;
            delay(200);
        }
        if (digitalRead(buttonMenuEnterPin) == HIGH) {
            // Виклик відповідних підпунктів меню
            switch (selectedItem) {

```

```
    case 0: /* SetThreshold(); */ break;
    case 1: /* SetMeasurementUnit(); */ break;
    case 2: /* SetGSMModule(); */ break;
  }
  delay(200);
}
if (digitalRead(buttonExitPin) == HIGH) return;
}
}
```