

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
(повна назва)

Кафедра Автоматизації проектування обчислювальної техніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Детектор диму на базі ARDUINO з функцією повідомлення
на телефон

(тема)

Виконав: здобувач 4 курсу, групи КІУКІ-21-7

Гойсак А.В.

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Тип програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма

Комп'ютерна інженерія

(повна назва освітньої програми)

Керівник роботи проф. Хаханова Г.В.

(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
Зав. кафедри

_____ (підпис)

Чумаченко С.В.

(прізвище, ініціали)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління
Кафедра Автоматизації проєктування обчислювальної техніки
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

(підпис)

«» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Гойсак Анастасії Віталіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проєкту) Детектор диму на базі ARDUINO з функцією повідомлення на телефон

затверджена наказом по університету від 21 _____ 05 _____ 2025 р. № 403Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 10.06.2025

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) _____

Плата Arduino Uno

Середовище розробки Arduino IDE

GSM/GPRS Модуль SIM900

Модуль датчика газу MQ-2

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

Аналіз предметної галузі та постановка задачі проєктування.

Розробка апаратної частини системи.

Розробка програмної частини системи.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) 15 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

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


7. Дата видачі завдання 06.05.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Видача теми проекту, узгодження і затвердження теми	06.05.2025 – 09.05.2025	
2	Аналіз проблемної галузі, постановка задачі, вибір інструментальних засобів	09.05.2025 – 14.05.2025	
3	Вибір апаратної платформи	14.05.2025 – 16.05.2025	
4	Розробка функціональної схеми	16.05.2025 – 17.05.2025	
5	Розробка програмного модуля	17.05.2025 – 23.05.2025	
6	Оформлення пояснювальної записки	23.05.2025 – 25.05.2025	
7	Перевірка виконаного проекту керівником, допуск до захисту	25.05.2025 – 10.06.2025	
8	Захист проекту	12.06.2025 – 24.06.2025	

Студент 
(підпис)

Керівник роботи (проекту) _____
(підпис)

 проф. Хаханова Г.В.
(посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи бакалавра: 50 сторінок, 18 рисунків, 2 таблиці, 5 лістингів, 8 джерел за переліком посилань, 2 додатка.

ДЕТЕКТОР ДИМУ, ARDUINO UNO, SIM900, ДАТЧИК ДИМУ MQ-2, АКТИВНИЙ ЗУМЕР, C++, ПОВІДОМЛЕННЯ НА СМАРТФОН.

Об'єктом розробки є детектор диму, призначений для виявлення диму в повітрі та сповіщення користувача про небезпеку шляхом надсилання повідомлення на телефон і подання звукового сигналу за допомогою активного зумера.

Предметом розробки є апаратно-програмний комплекс на базі Arduino UNO з використанням модуля SIM900, який забезпечує фіксацію диму та реалізацію функції оповіщення.

Метою розробки є створення детектора диму з функцією автоматичного сповіщення користувача про перевищення допустимого рівня диму, з можливістю дистанційного інформування через мережу мобільного зв'язку.

ABSTRACT

Explanatory note of the bachelor's qualification work: 50 pages, 18 figures, 2 tables, 5 listings, 8 references in the bibliography, 2 appendices.

SMOKE DETECTOR, ARDUINO UNO, SIM900, MQ-2 SMOKE SENSOR, BUZZER, C++, SMARTPHONE NOTIFICATION.

The object of the development is a smoke detector designed to detect smoke in the air and notify the user about danger by sending a message to a smartphone and emitting a sound using an active buzzer.

The subject of the development is a hardware and software system based on the Arduino UNO with the use of the SIM900 module, which ensures smoke detection and implements the alert function.

The purpose of the development is to create a smoke detector with the function of automatically notifying the user about the exceeding of the permissible smoke level, with the ability to send alerts remotely via mobile communication.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	7
ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ	10
1.1 Аналіз предметної області	10
1.2 Огляд вже існуючих рішень	10
1.3 Порівняльна характеристика	13
2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ	15
2.1 Arduino UNO – центральний контролер системи.....	16
2.2 Датчик диму MQ-2.....	21
2.3 Порівняння сенсорів серії MQ.....	24
2.4 Активний зумер.....	27
2.5 Модуль SIM900	29
2.6 Порівняння модулів SIM800 та SIM900	32
2.7 Розробка апаратної частини системи.....	35
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ	38
3.1 Arduino IDE.....	38
3.2 Розробка програмної частини системи.....	39
4 РОЗВИТОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЄКТУ	44
4.1. Можливі покращення та розширення функціоналу.....	44
4.2. Застосування в інших сферах	46
4.3. Масштабованість системи	47
ВИСНОВОК.....	49
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	50
ДОДАТОК А.....	51
ДОДАТОК Б	59

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

LPG (Liquefied Petroleum Gas) - зріджений нафтовий газ.

GSM (Global System for Mobile Communications) - глобальна система мобільного зв'язку.

GPRS (General Packet Radio Service) - загальний сервіс пакетної радіопередачі.

IoT (Internet of Things) - Інтернет речей.

ОС - операційна система.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) - постійний запам'ятовувач.

I2C (Inter-Integrated Circuit) - модуль розширення виводів.

SPI (Serial Peripheral Interface) - послідовний периферійний інтерфейс.

ВСТУП

Пожежі становлять серйозну та часто непередбачувану загрозу для життя та майна людей. Вони можуть спалахнути раптово, швидко поширюватися та спричинити руйнівні наслідки за лічені хвилини. Згідно зі статистикою Державної служби України з надзвичайних ситуацій, лише за перші сім місяців 2020 року по всій країні було зареєстровано 59 497 пожеж. З них 17 416 сталися в житлових будівлях та спорудах - місцях, де люди повинні почуватися найбезпечніше. Цю загрозу ще більше турбує еволюція сучасного будівництва та дизайну будинків. Дослідження показали, що новіші будинки та меблі, хоча часто є більш доступними та стильними, також набагато більш вогнебезпечними. Синтетичні матеріали, відкрите планування поверхів та легкі конструкції дозволяють вогню рости та поширюватися набагато швидше, ніж у минулому. Наприклад, тридцять років тому у людини було приблизно 17 хвилин, щоб врятуватися від пожежі в будинку. Сьогодні у вас може бути лише 3 або 4 хвилини. Джефф Россен з NBC у широко цитованому розслідуванні продемонстрував, як швидко спалахують сучасні меблі та як швидко полум'я охоплює цілі кімнати. Таке скорочення часу евакуації підкреслює критичну необхідність раннього виявлення пожежі. Один з найефективніших способів досягнення цієї мети - виявлення диму - найдавнішої та найнадійнішої ознаки розвитку пожежі. Впровадження систем швидкого виявлення диму може значно покращити безпеку, мінімізувати втрати та, найголовніше, врятувати життя.

Датчик диму – це важливий пристрій безпеки, призначений для виявлення диму в повітрі, який зазвичай сигналізує про ранні стадії пожежі. Своєчасне виявлення диму може значно зменшити ризик травмування, пошкодження майна та втрати життя, забезпечуючи швидше реагування та евакуацію. Одним з найпоширеніших датчиків у сучасних системах виявлення диму є газовий датчик MQ-2. Цей універсальний та економічно ефективний

компонент є дуже чутливим до широкого спектру горючих газів, включаючи дим, пропан, метан, водень та бутан. Його широкі можливості виявлення роблять його ідеальним для житлових, комерційних та промислових застосувань. Датчик MQ-2 видає аналоговий сигнал, який змінюється залежно від концентрації газів у повітрі. Потім цей сигнал обробляється мікроконтролером, таким як Arduino UNO, який інтерпретує дані та активує систему сповіщення, таку як зумер, світлодіодний індикатор або навіть сповіщення через мобільний додаток. Інтеграція цього датчика з Arduino дозволяє створювати налаштовані, масштабовані та доступні рішення для виявлення пожежі, придатні як для автономного використання, так і для включення до більших мереж безпеки.

У цьому проєкті реалізовано систему виявлення диму з використанням датчика MQ-2. Після фіксації диму сенсором активується звуковий сигнал за допомогою активного зумера, а також надсилається сповіщення на смартфон через модуль зв'язку SIM900. Даний прототип має на меті забезпечити доступне та ефективне рішення для раннього попередження про пожежу в житлових приміщеннях, особливо в умовах щільної забудови, де швидке реагування є критично важливим.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Аналіз предметної області

Перший детектор диму був винайдений випадково у 1930-х роках шведським науковцем Вальтером Єгером. Він розробляв пристрій для виявлення отруйних газів, проте під час тестування пристрій не реагував. У спробі перевірити його чутливість Єгер запалив сигарету - і пристрій несподівано спрацював. Так було випадково відкрито принцип дії, який згодом ліг в основу сучасних детекторів диму.

Відтоді пристрій неодноразово вдосконалювався вченими. Сучасні рішення базуються на компактних, чутливих сенсорах, здатних виявляти наявність небезпечних речовин у повітрі. Вони інтегруються в автоматизовані системи, що забезпечують раннє реагування на загрозу.

У більшості сучасних рішень використовуються мікроконтролери, які аналізують сигнали із сенсорів та керують системами оповіщення звуковими сигналами, світловими індикаторами або бездротовими повідомленнями. Завдяки мініатюризації компонентів та розвитку технологій зв'язку стало можливим створення портативних пристроїв, що передають інформацію на смартфон або інші пристрої в режимі реального часу. Такі рішення мають широке застосування як у побуті, так і в промисловості.

1.2 Огляд вже існуючих рішень

Nest Protect - це сучасний розумний детектор диму та чадного газу, який поєднує передові технології зі зручними функціями. Розроблений з нуля, він не лише виявляє небезпеку, але й чітко та ефективно повідомляє про це. Однією з ключових інновацій є датчик з розділеним спектром, який використовує дві довжини хвиль світла для виявлення як швидкопалючих, так

і тліючих пожеж, що робить його більш чутливим до типів пожеж, поширених у сучасних будинках, де такі матеріали, як пінопласт та ДСП, можуть швидко спалахнути.

Nest Protect виходить за рамки традиційних сигналізацій, пропонуючи дружній людський голос, який дає ранні попередження, допомагаючи користувачам реагувати спокійно, наприклад, прибирати палаючі тости, перш ніж вони стануть реальною небезпекою. Він також підтримує взаємопов'язані сповіщення, тобто якщо внизу виявлено дим, сигналізація в спальні також сповістить вас про це.

Також цей детектор виконує автоматичні самоперевірки понад 400 разів на день, включаючи щомісячні перевірки звуку, щоб переконатися, що його динамік та сирена працюють належним чином. Користувачам більше не потрібно вручну перевіряти свої сигналізації, оскільки система постійно контролює як датчики, так і рівень заряду батареї.

Датчик також має функцію надсилати сповіщення в режимі реального часу на телефон через Wi-Fi. Це дозволяє користувачам отримувати екстрені сповіщення навіть поза домом, а також вимикати хибні тривоги безпосередньо зі свого смартфона без необхідності встановлення додаткового обладнання.



Рисунок 1.1 – Детектор Nest Protect

Димова сигналізація X-Sense - це компактний та надійний пристрій, розроблений для поєднання функціональності, безпеки та сучасного дизайну. Її мініатюрний та елегантний вигляд дозволяє їй бездоганно вписатися в будь-який домашній інтер'єр, зберігаючи при цьому високу продуктивність. Однією з її ключових переваг є фотоелектричний датчик, який особливо чутливий до диму від повільно горючих, тліючих пожеж, що забезпечує раннє та точне виявлення.

Ця сигналізація оснащена змінним акумулятором, який забезпечує цілий рік безперебійного захисту, а сам пристрій має термін служби до 10 років. Сама ж конструкція пилонепроникна та допомагає запобігти потраплянню пилу у внутрішні компоненти, зменшуючи ймовірність хибних спрацьовувань.

У разі пожежі сигналізація видає гучний звук потужністю 85 дБ, достатньо потужного, щоб сповістити всю родину, навіть розбудивши тих, хто міцно спить. Багато моделей X-Sense підтримують бездротове з'єднання, що дозволяє всім сигналізаціям у системі спрацьовувати одночасно для повного покриття кількох кімнат. Деякі версії димової сигналізації X-Sense також пропонують підключення до Wi-Fi та інтеграцію з додатком для смартфонів, надаючи сповіщення в режимі реального часу та вказуючи місцезнаходження пожежі. Хоча основні сповіщення доступні безкоштовно, більш розширені функції, такі як дані історії та розширений контроль, вимагають платної щомісячної підписки.



Рисунок 1.2 – Димова сигналізація X-Sense

Детектор диму та чадного газу Onelink від First Alert Battery Smoke + Carbon Monoxide Alarm - це розумний детектор, розроблений для забезпечення цілодобового захисту вашого будинку. Він може точно виявляти наявність диму або чадного газу та негайно надсилати екстрені сповіщення на ваш телефон, допомагаючи вам швидко реагувати на потенційні небезпеки. Однією з його видатних особливостей є здатність визначати як тип, так і місцезнаходження загрози, надаючи чіткі, специфічні для ситуації сповіщення.

Цей детектор повністю бездротовий і працює через Bluetooth, що спрощує його встановлення та налаштування без необхідності професійної допомоги чи додаткової проводки. Щоб керувати пристроєм та контролювати його, користувачам потрібно завантажити додаток Onelink Home, який доступний виключно для пристроїв iOS.

Оснащена довговічною батареєю, сигналізація Onelink розрахована на роботу до 10 років, що позбавляє від клопоту з частою заміною батарейок.



Рисунок 1.3 – Детектор диму та чадного газу Onelink

1.3 Порівняльна характеристика

Кожен із цих пристроїв поєднує традиційні засоби виявлення диму з

розширеними функціями, такими як мобільні сповіщення, бездротове підключення та довговічні батареї. Однак вони відрізняються сумісністю, видом звукового сповіщення та типом підключення.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика датчиків диму

Особливості	Nest Protect	X-Sense	Onelink
Тип виявлення	Дим, чадний газ	Дим	Дим, чадний газ
Підключення	Wi-Fi, Bluetooth	Wi-Fi	Bluetooth
Мобільні сповіщення	+	+	+
Звукове сповіщення	Гучна сирена + голосові сповіщення	Гучна сирена 85 дБ	Голосове сповіщення
Сумісність з ОС	Android, iOS	Android, iOS	iOS

1.4 Постановка задачі

Після порівняння трьох датчиків що представлені на ринку сформувався основні вимоги до розробки власного проекту:

- сумісність з усіма операційними системами;
- сповіщення про небезпеку на телефон;
- звукове сповіщення.

2 РОЗРОБКА АПАРАТНОЇ ЧАСТИНИ

Для реалізації системи сповіщення про дим з функцією телефонного сповіщення було ретельно підібрано набір апаратних компонентів, виходячи з критеріїв надійності, економічної ефективності, компактності та сумісності. Метою було створити пристрій, який не лише своєчасно та точно виявляє дим, але й оперативно інформує користувача через мобільний зв'язок.

В основі системи лежить мікроконтролер Arduino, універсальна та широко використовувана платформа для створення прототипів та розробки вбудованих систем. Завдяки відкритому коду, простоті використання та широкій підтримці спільноти, Arduino було обрано блоком керування, відповідальним за збір даних з датчиків, їх обробку та ініціювання комунікаційних дій.

Окрім плати Arduino, у конструкцію було інтегровано кілька периферійних модулів для забезпечення повної функціональності системи. До них належать датчик диму для виявлення частинок диму в навколишньому середовищі в режимі реального часу, GSM-модуль для надсилання SMS-сповіщень або телефонних дзвінків у разі виявлення диму, зумер для звукових сповіщень та допоміжні компоненти, такі як резистори, елементи живлення та з'єднувальні дроти.

Кожен із цих модулів виконує певну функцію в системі, а їхня скоординована взаємодія забезпечує загальну продуктивність та надійність пристрою. У наступних підрозділах буде надано детальний огляд апаратних компонентів, включаючи їхні характеристики, принципи роботи та ролі в системі. Крім того, будуть описані з'єднання між модулями та платою Arduino, щоб проілюструвати, як потоки інформації та рішення приймаються всередині пристрою.

У цьому розділі повноцінно описано, як була розроблена апаратна частина детектора диму, як були обрані та поєднані окремі компоненти, а

також як вони сприяють реалізації основної функції системи: ранньому виявленню диму та своєчасному сповіщенню користувача через мобільний телефон.

2.1 Arduino UNO – центральний контролер системи

Під час розробки системи виявлення диму та телефонного сповіщення в якості основного процесорного блоку було обрано мікроконтролер Arduino Uno. Це рішення було прийнято на основі балансу технічних можливостей, вартості, простоти використання та підтримки модульної інтеграції. Arduino Uno забезпечує надійну та зручну основу для швидкого прототипування та проектування вбудованих систем, що робить його придатним вибором як для освітніх, так і для реальних проектів.

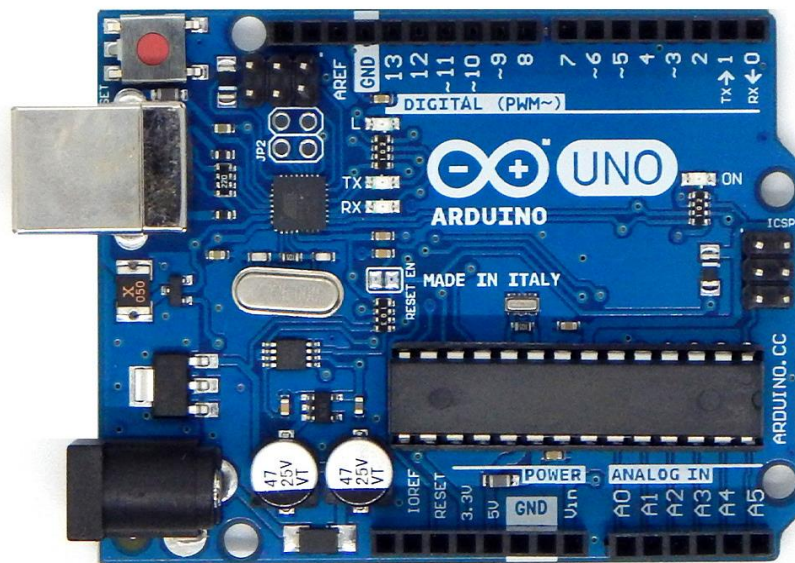


Рисунок 2.1 – Arduino UNO

Arduino Uno - це плата мікроконтролера з відкритим кодом, розроблена Arduino.cc та побудована на базі мікроконтролера Microchip ATmega328P. Цей мікроконтролер працює на частоті 16 МГц та оснащений 32 КБ флеш-пам'яті

(з яких 0,5 КБ використовується завантажувачем), 2 КБ SRAM та 1 КБ EEPROM. Ці характеристики пропонують достатньо ресурсів для вбудованих застосувань середнього масштабу, таких як системи моніторингу датчиків та зв'язку.

Плата містить загалом 14 цифрових вхідних/вихідних (I/O) контактів, 6 з яких підтримують ШІМ (широотно-імпульсну модуляцію) вихід, та 6 аналогових вхідних контактів. Ці можливості введення/виведення дозволяють підключати різноманітні датчики, виконавчі механізми, модулі зв'язку та компоненти інтерфейсу користувача. Плата також має спеціальні контакти для зв'язку SPI та I2C, що розширює можливості взаємодії з більш просунутими периферійними пристроями.

Живлення плати може подаватись двома способами: через роз'єм USB Type-B або через зовнішнє джерело живлення, таке як батареяка 9 В чи зовнішній адаптер, підключений до роз'єму. Плата приймає вхідну напругу від 7 до 20 вольт, з оптимальним робочим діапазоном від 7 до 12 вольт. Вона також включає регулятор напруги, що дозволяє використовувати різні джерела живлення без ризику пошкодження компонентів.

Arduino Uno також має вбудований перетворювач USB-послідовний порт на базі мікросхеми ATmega16U2 (у новіших версіях), що забезпечує легке підключення та зв'язок з ПК. Цей USB-інтерфейс дозволяє користувачам програмувати плату за допомогою інтегрованого середовища розробки (IDE) Arduino, яке доступне для Windows, macOS та Linux. IDE використовує спрощену версію C++ та надає широкий спектр бібліотек і прикладів, що значно знижує бар'єр для розробників і студентів, які входять у світ програмування мікроконтролерів.

Помітною перевагою Arduino Uno є його відкритий вихідний код. Файли апаратного забезпечення та схеми є загальнодоступними та ліцензованими за ліцензією Creative Commons Attribution Share-Alike 2.5, що дозволяє модифікацію, поширення та навіть комерційне використання. Ця відкритість сприяла формуванню великої та активної глобальної спільноти розробників,

викладачів, любителів та інженерів.

Широка популярність Arduino Uno призвела до появи великої кількості онлайн-ресурсів, включаючи офіційну документацію, бібліотеки, навчальні посібники. Це робить його ідеальною платформою як для початківців, так і для досвідчених розробників. Більше того, його сумісність з різними платами Arduino - модульними платами, що додають певні функції, такі як бездротовий зв'язок, керування двигуном або GPS - значно розширює його потенційні можливості застосування.

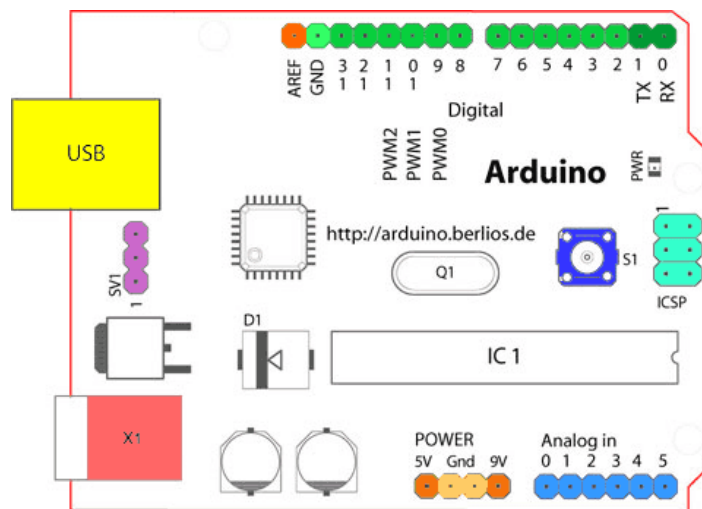


Рисунок 2.2 – Елементи Arduino UNO

Ключові характеристики плати програмування Arduino UNO R3:

- мікроконтролер: ATmega328 (16 МГц) із підтримкою ATmega16U2;
- пам'ять: 32 KB Flash, 2 KB SRAM, 1 KB EEPROM;
- цифрові входи/виходи: 14 портів (6 із підтримкою PWM);
- аналогові входи: 6 портів для точного вимірювання;
- інтерфейси: UART, SPI, I²C;
- живлення: USB (5V) або адаптер (7–12V);
- габарити: 68.6 мм x 53.4 мм.

Під час вибору центрального процесора для проекту детектора диму було розглянуто кілька альтернатив, включаючи мікроконтролери Arduino Nano, Arduino Leonardo та ESP8266/ESP32. Кожен з цих варіантів має свої переваги та недоліки, які були ретельно проаналізовані перед остаточним вибором Arduino Uno.

Arduino Nano - ця плата функціонально схожа на Uno, оснащена тим самим мікроконтролером ATmega328P, але в меншому форм-факторі. Nano компактніша та зручніша для макетної плати, що робить її придатною для конструкцій з обмеженим простором. Однак їй бракує стандартного роз'єму USB Type-B, і вона вимагає кабелю Mini-USB або micro-USB, який може бути менш довговічним у довгостроковій перспективі. Крім того, Nano зазвичай має нижчу допустиму напругу струму та менше опцій регулювання живлення, що важливо в системі, що включає кілька модулів (наприклад, GSM, зумер, датчики).



Рисунок 2.3 – Arduino Nano

Arduino Leonardo - ця плата базується на мікроконтролері ATmega32u4 та має перевагу вбудованих можливостей USB-зв'язку, що дозволяє їй емулювати клавіатуру або мишу. Хоча це може бути корисним у деяких проектах, це було зайвим для застосування детектора диму. Більше того, проблеми сумісності з деякими сторонніми бібліотеками та платами керування призвели до рішення не використовувати Leonardo.



Рисунок 2.4 – Arduino Leonardo

ESP8266 та ESP32 - ці мікроконтролери мають вбудований Wi-Fi (і Bluetooth для ESP32), що забезпечує бездротовий зв'язок та можливості Інтернету речей. Хоча вони пропонують значно більшу обчислювальну потужність і пам'ять, вони також передбачають складніші процедури налаштування та вимоги до живлення. Основна увага в цьому проекті була зосереджена на SMS-повідомленнях через GSM, а не на Wi-Fi або хмарних системах, тому переваги модулів на основі ESP не були суттєвими. Крім того, Arduino Uno має більшу підтримку спільноти та стабільність для інтеграції GSM порівняно з модулями ESP, які часто стикаються з проблемами сумісності бібліотек з деякими модулями GSM, такими як SIM800 або SIM900.

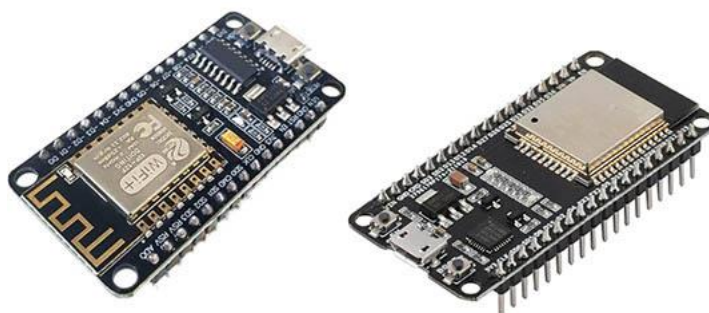


Рисунок 2.5 – ESP32 та ESP8266

В результаті Arduino Uno було обрано завдяки його надійній та перевіреній архітектурі, простоті розробки, широкій сумісності з периферійними пристроями та неперевершеній підтримці спільноти. Хоча інші мікроконтролери пропонували певні переваги, баланс простоти та функціональності Uno найкраще відповідав цілям проекту. Він виступає мозком системи виявлення диму, злагоджено координуючи показники датчиків, локальні тривоги та віддалені сповіщення. Цей мікроконтролер не лише підтримує поточний обсяг проекту, але й дозволяє легко розширювати його в майбутньому, наприклад, додаючи дисплей, записуючи дані на SD-карту або інтегруючись із системами домашньої автоматизації.

2.2 Датчик диму MQ-2

Ключовим компонентом системи виявлення та оповіщення про дим є газовий датчик, який дозволяє ідентифікувати потенційно небезпечні речовини, що переносяться повітрям. Для цього було обрано газовий та димовий датчик MQ-2 завдяки його надійності, чутливості, доступності та сумісності з платформою Arduino Uno.

MQ-2 - це широко використовуваний електрохімічний газовий датчик, здатний виявляти низку горючих газів і парів, включаючи водень (H_2), зріджений нафтовий газ (LPG), бутан, пропан, метан, спирт, чадний газ і дим. Його здатність реагувати на численні небезпечні речовини робить його ідеальним для систем безпеки всередині приміщень, спрямованих на раннє виявлення пожежі та запобігання отруєнню газом.

Робота датчика MQ-2 базується на зміні провідності в присутності певних газів. Основний чутливий елемент пристрою складається з діоксиду олова (SnO_2), напівпровідникового матеріалу, електричний опір якого значно змінюється залежно від концентрації відновлювальних газів у навколишньому повітрі. У чистому повітрі провідність SnO_2 відносно низька. Однак, коли датчик піддається впливу диму або легкозаймистих газів, опір матеріалу різко

зменшується, що дозволяє виявити наявність газу.

Ця реакція відбувається швидко, завдяки високій чутливості та швидкому часу відгуку MQ-2. Як результат, датчик може виявляти небезпечні рівні газу протягом кількох секунд після впливу, що запускає негайну реакцію системи. Ця характеристика особливо цінна в тих випадках, коли раннє попередження може запобігти пожежі, отруєнню газом або вибуху.

Датчик MQ-2 має чотири виводи: VCC, GND, AOUT та DOUT, за допомогою яких можна отримувати необхідну інформацію з сенсора:

VCC - вивід живлення сенсора, підключається до 5V;

GND - заземлення, має бути підключений до GND Arduino;

DOUT - цифровий вихід. Якщо газ або дим не виявлено, сигнал низький (LOW); якщо виявлено, сигнал високий (HIGH);

AOUT - аналоговий вихід. Видає аналоговий сигнал, який змінюється в межах від 0 до 5 В залежно від концентрації газу.



Рисунок 2.6 - Модуль MQ-2 та його виводи

Для правильного функціонування датчик повинен досягти певної робочої температури. Це досягається за допомогою вбудованого

нагрівального елемента, який активує поверхневу хімію датчика. Однак, оскільки нагрівання горючих газів становить ризик для безпеки, MQ-2 розроблений із захисною сітчастою структурою. Сітка виготовлена з двох тонких шарів нержавіючої сталі, які захищають чутливий елемент і нагрівач від прямого впливу пилу, комах та іскор, водночас пропускаючи молекули газу.

Внутрішній нагрівач виготовлений з ніхромового дроту (нікель-хромового сплаву), відомого своєю здатністю протистояти високим температурам і підтримувати стабільний нагрів протягом тривалого часу. Чутливий елемент, розташований всередині сітки, являє собою платинову спіраль, покриту SnO_2 , що забезпечує як чутливість, так і стабільність. Корпус датчика виготовлений з бакеліту, терморезистивного пластику, відомого своєю чудовою термостійкістю та ізоляційними властивостями, що ще більше підвищує довговічність датчика та його терморегуляцію.

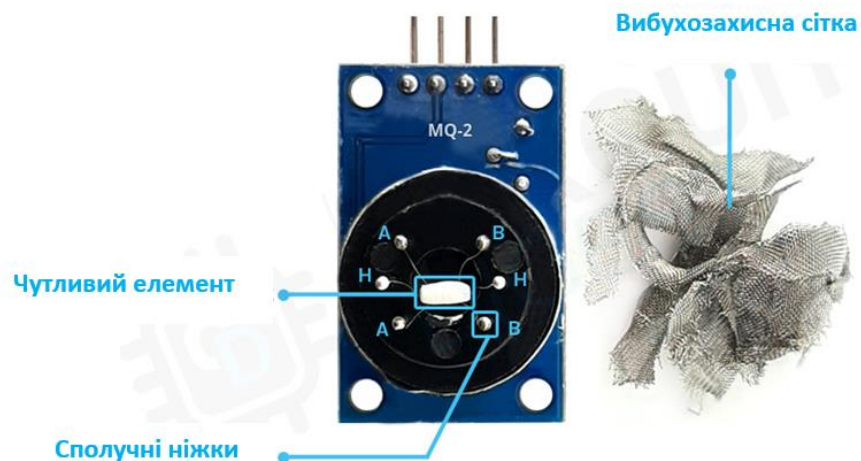


Рисунок 2.7 – Будова MQ-2

Ключові характеристики модуля MQ-2:

- діапазон чутливості: 300-10000 ppm;
- R_s (опір чутливого елемента) 1...20 кОм 50ppm толуол;

- час відгуку $\leq 10\text{с}$;
- чутливість $(R \text{ у повітрі})/(R \text{ у присутності характерного газу}) \geq 5$;
- R_h (опір нагрівача) $31\Omega \pm 3\Omega$;
- I_h (струм нагрівача) $\leq 180\text{мА}$;
- V_h (напруга нагрівача) $5\text{В} \pm 0,2\text{В}$;
- P_h (потужність нагрівача) $\leq 900\text{мВт}$;
- V_c (напруга схеми) $\leq 24\text{В}$.

Для забезпечення оптимальної продуктивності датчик MQ-2 слід відкалібрувати перед використанням. Калібрування передбачає вплив на датчик чистого повітря та відомих концентрацій газу для визначення опорного опору (R_0) та відповідного встановлення порогів виявлення. Хоча базова функціональність досяжна з налаштуваннями за замовчуванням, правильне калібрування покращує точність, повторюваність та довгострокову надійність.

З точки зору безпеки, хоча датчик містить нагрівальний елемент, його внутрішня конструкція гарантує, що горючі гази не піддадуться впливу відкритих іскор або джерел тепла. Сітка та бакелітовий корпус мають вирішальне значення для запобігання вибуху та безпеки користувача. Тим не менш, датчик слід використовувати в добре вентильованих корпусах, і рекомендується регулярне технічне обслуговування (наприклад, видалення пилу), щоб уникнути помилкових показників або несправностей.

2.3 Порівняння сенсорів серії MQ

Сенсори серії MQ є найпоширенішими газовими датчиками, які застосовуються у проєктах з виявлення витоків газу, оцінки якості повітря та системах безпеки. Кожен сенсор має різний рівень чутливості до певних типів газів, тому правильний вибір модуля залежить від конкретного завдання.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика сенсорів

Сенсор	Виявляє	Найвища чутливість до	Діапазон чутливості (ppm)	Особливості/Застосування
MQ-2	LPG, дим, алкоголь, пропан, водень, метан, CO	LPG, пропан	200-10000	Потужний багатофункціональний сенсор, ідеальний для виявлення витоків газу та диму
MQ-3	Алкоголь, бензин, LPG, CO, CH ₄	Алкоголь	25-500	Надзвичайно чутливий до парів спирту, використовується в алкотестерах
MQ-5	Природний газ, LPG, CH ₄	Природний газ (метан)	200-10000	Бюджетний та надійний сенсор для виявлення природного газу
MQ-7	CO, H ₂	Чадний газ (CO)	20-2000	Висока чутливість до CO, використовується в детекторах чадного газу
MQ-9	CH ₄ , CO, пропан, бутан, H ₂	Метан, пропан, водень	10-1000	Сенсор широкого спектра для детекції горючих сполук
MQ-135	CO, NO ₂ , озон, NH ₃ , бензол	CO, NO ₂	10-1000	Використовується для оцінки якості повітря, часто в системах кондиціонування

Таким чином, вибір сенсора MQ-2 у рамках реалізації даного проєкту є технічно та економічно обґрунтованим. Завдяки своїй високій чутливості до диму та поширених побутових газів (зокрема пропану, бутану, водню та метану), він дозволяє ефективно реагувати на потенційно небезпечні ситуації, пов'язані з витокami або займанням газу.

Крім того, низька вартість сенсора, доступність на ринку та простота інтеграції з платформою Arduino роблять його ідеальним вибором для побудови прототипів, навчальних проєктів та бюджетних рішень систем безпеки. Завдяки аналоговому та цифровому виходам MQ-2 може бути використаний як у простих схемах із пороговою сигналізацією, так і в більш

складних проєктах з калібруванням рівнів концентрації газів.

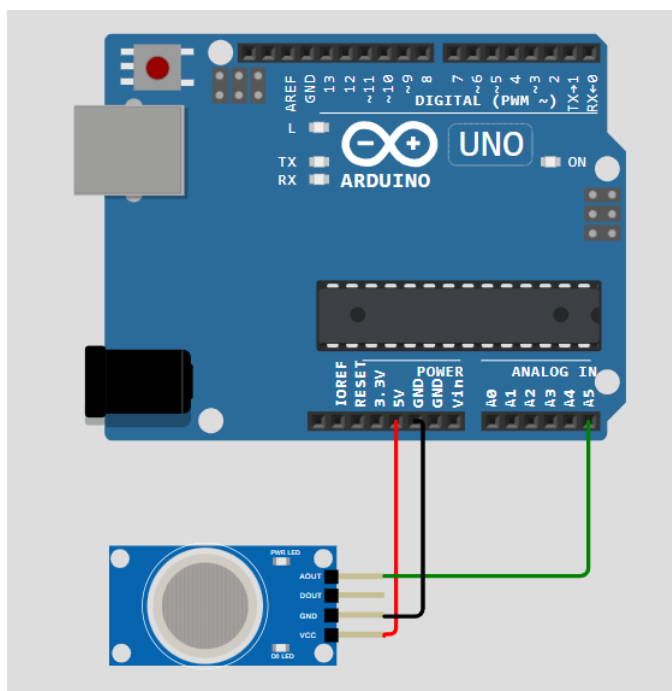


Рисунок 2.8 – Підключення MQ-2 до Arduino Uno

Датчик MQ-2 має високу сумісність з Arduino Uno, як за рівнем напруги (логіка 5 В), так і за зв'язком. У цій системі аналоговий вихід (AOUT) MQ-2 підключений до одного з аналогових входних контактів Arduino Uno. Мікроконтролер постійно зчитує це значення та порівнює його з пороговим значенням, яке визначено в коді системи. Коли концентрація диму або газу перевищує цей поріг, Arduino ініціює аварійні протоколи, такі як вмикання звукового сигналу та надсилання SMS-сповіщення через GSM-модуль.

Вивід DOUT також можна використовувати паралельно для резервування або швидшого цифрового відгуку. Наприклад, якщо користувач віддає перевагу простому цифровому тригеру (для простоти або швидкості), цей вивід можна зчитувати за допомогою стандартного цифрового входу. Однак, для кращого контролю та регулювання чутливості, аналоговий вихід є кращим варіантом.

2.4 Активний зумер

Окрім дистанційного сповіщення через GSM-зв'язок, важливо, щоб система виявлення диму включала локальний метод оповіщення людей у безпосередньому оточенні. Для цього в систему було вбудовано активний зумер. Цей компонент забезпечує простий, але дуже ефективний спосіб генерації звукових сповіщень у разі виявлення диму або газу.

Активний зумер - це електронний пристрій, що випромінює звук і видає тональний сигнал при живленні від сигналу напруги. На відміну від пасивного зуммера, якому для вироблення звуку потрібен змінний вхідний сигнал, активний зумер має вбудований коливальний контур. Це означає, що він автоматично генерує звук, коли на його вхід подається напруга, зазвичай для роботи потрібен лише сигнал високого рівня (наприклад, 5 В з цифрового вихідного контакту Arduino). Це робить його надзвичайно простим у використанні та ідеальним для проектів, де перевага надається мінімальній складності керування.



Рисунок 2.9 – Активний зумер

Зумер, який використовується в цьому проекті, працює на фіксованій частоті 2300 Гц - що цілком відповідає діапазону чутності для людини та видає

звук, який легко розрізнити навіть у галасливому середовищі. Після активації він видає високочастотний звуковий сигнал, що гарантує, що люди, які знаходяться поблизу, негайно будуть попереджені про потенційну небезпеку.

У контексті системи детекторів диму зумер слугує критично важливим компонентом для оповіщення в будинку. Коли датчик MQ-2 виявляє дим або газ, Arduino не лише надсилає сповіщення на телефон користувача через GSM-модуль, але й активує зумер, щоб забезпечити негайне звукове сповіщення. Ця локальна сигналізація особливо важлива у випадках, коли людина знаходиться вдома, але не перевірила свій телефон, або якщо є діти, літні люди чи інші присутні, які можуть не користуватися мобільними пристроями. Вона забезпечує прямий та безпомилковий сигнал, який спонукає мешканців вжити заходів, таких як провітрити кімнату, перевірити наявність пожежі або евакуюватися.

Ключові характеристики активного зумера:

- живлення: 5 В;
- струм: не більше 30 мА;
- частота звуку: 2300 Гц;
- розмір: 9x5, 5мм / 12x9, 5мм.

Більше того, активні зумери компактні, малопотужні, недорогі та дуже прості в інтеграції в систему на основі мікроконтролера. Вони потребують лише двох з'єднань: одного до цифрового вихідного контакту Arduino (для керування сигналом) та одного до GND. Деякі модулі також містять резистор обмеження струму та драйвер транзистора на платі, що спрощує підключення та усуває необхідність використання зовнішніх компонентів.

Ці переваги роблять активний зумер стандартним рішенням у побутовій електроніці та системах безпеки. Такі пристрої, як мікрохвильові печі, будильники, таймери, детектори диму, пральні та посудомийні машини, часто використовують зумери для взаємодії з користувачем або для сигналізації про помилки чи події. Їхня надійність та миттєва реакція роблять їх ідеальними

для критично важливих систем, таких як пожежна та газова сигналізація.

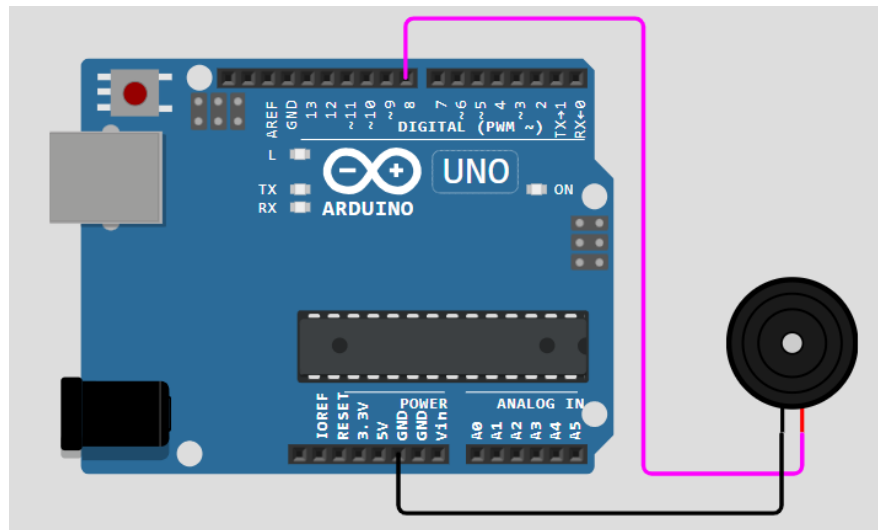


Рисунок 2.10 – Підключення ативного зумера до Arduino Uno

Підсумовуючи, включення активного зумера до проекту детектора диму підвищує надійність та швидкість реагування системи. Він забезпечує резервний та негайний метод сповіщення мешканців, які знаходяться поблизу пристрою, навіть якщо телефонне сповіщення не спрацює або залишається непоміченим. Його простота, низька вартість та легкість інтеграції роблять його чудовим доповненням до загального апаратного забезпечення системи.

2.5 Модуль SIM900

У сучасній системі виявлення диму, особливо тій, що призначена для використання в житлових та віддалених приміщеннях, здатність оперативно інформувати користувача про небезпечну ситуацію, незалежно від його фізичного місцезнаходження, є критично важливою. З цієї причини в систему було інтегровано модуль GSM/GPRS, який забезпечує дистанційне сповіщення за допомогою SMS-повідомлень. Ця функція дозволяє детектору диму служити не лише локальною системою оповіщення (із зумером), але й

дистанційним сповіщувачем у режимі реального часу, що значно підвищує рівень безпеки та функціональності.

Модуль SIM900 GSM/GPRS було обрано завдяки його широкій сумісності, стабільній роботі та вбудованій підтримці систем на базі Arduino. Він є одним із найпоширеніших модулів для бездротового зв'язку в проектах Інтернету речей (IoT) завдяки своїй універсальності, економічній ефективності та міжнародному покриттю.

SIM900 - це чотиридіапазонний GSM/GPRS-модуль виробництва SIMCom, здатний працювати на частотах 850 МГц, 900 МГц, 1800 МГц та 1900 МГц. Ця функція дозволяє йому працювати практично в будь-якій країні світу, що робить його придатним для проектів із широким географічним розгортанням або для майбутнього масштабування.



Рисунок 2.11 – Модуль SIM900

Ключові характеристики модуля SIM900:

- живлення модуля: 5В;
- GPRS: слот Клас 10 і 8 GPRS, клас В мобільні станції;
- робочі частоти: Підтримується робота з частотами 850, 900, 1800, 1900МГц (підтримка роботи в будь-якій країні світу);

- енергоспоживання: Низьке, від 1.5 мА (сплячий режим);
- підтримка протоколів: TCP та UDP;
- кількість виходів: 12 виходів GPIO та 2 ШІМ, а також один аналогово-цифровий перетворювач;
- діапазон робочих температур: від -40°C до +85°C;
- габаритні розміри (мм): 86x58x19.

Він розроблений зі слотом для SIM-картки, що дозволяє використовувати будь-яку стандартну SIM-картку GSM, за умови, що карта підтримує мережі 2G (більшість досі це робить). Крім того, плата включає підтримку гарнітури (роз'єм), кнопки керування живленням та світлодіодні індикатори стану (зазвичай червоний для живлення та зелений для реєстрації в мережі). Ці фізичні елементи допомагають у налагодженні, моніторингу та управлінні модулем під час розробки та розгортання.

Модуль може виконувати майже всі функції мобільного телефону програмно за допомогою AT-команд. Зокрема, він підтримує:

- надсилання та отримання SMS-повідомлень;
- здійснення та отримання голосових дзвінків;
- передачу даних через GPRS (General Packet Radio Service) для підключення до Інтернету;
- моніторинг сигналу в режимі реального часу та реєстрацію мережі;
- керування SIM-картами.

Модуль SIM900 об'єднує кілька ключових функціональних блоків, кожен з яких виконує певну функцію в комунікації та управлінні:

- слот для SIM-картки - приймає стандартну SIM-картку. Її необхідно вставити перед живленням модуля. SIM-картка обробляє автентифікацію та виставлення рахунків оператору мобільного зв'язку;
- антена - використовується для покращення сигналу та

забезпечення стабільного зв'язку;

- UART - зв'язок між SIM900 та Arduino відбувається через послідовні (TX/RX) лінії. Модуль зазвичай підключається за допомогою SoftwareSerial на Arduino, щоб уникнути конфліктів з апаратним UART;
- стабілізатор напруги - плата зазвичай живиться від джерела 5В або 9В, але сам модуль працює внутрішньо на 3,3В, а стабілізатор забезпечує стабільну роботу;
- кнопки керування живленням:
 - одна кнопка перемикається між USB або зовнішнім джерелом живлення;
 - друга використовується для ввімкнення або скидання модуля GSM.
- світлодіодні індикатори стану:
 - стан живлення;
 - NetLight - що показує стан реєстрації в мережі GSM (блимає щосекунди = не підключено, блимає кожні 3 секунди = підключено до мережі).

2.6 Порівняння модулів SIM800 та SIM900

Під час планування апаратної архітектури системи виявлення диму розглядалося кілька GSM-модулів. Однією з найпоширеніших альтернатив став модуль SIM800 - оновлена та компактніша версія SIM900. Обидва модулі розроблені компанією SIMCom і підтримують зв'язок GSM/GPRS, однак вони мають певні технічні та структурні відмінності, які були враховані перед ухваленням остаточного рішення.

SIM800 є чотиридіапазонним GSM/GPRS-модулем, який, подібно до SIM900, забезпечує передачу голосу, SMS та даних через GPRS. Водночас SIM800 вирізняється підвищеною енергоефективністю, зменшеними

SIM900 вважається стандартом у багатьох Arduino-проектах, особливо в навчальних і прототипних середовищах. Для нього існує велика кількість готових бібліотек, прикладів коду, детальних інструкцій і схем підключення, адаптованих саме для Arduino Uno. Це значно спрощує процес розробки, зменшує кількість потенційних помилок і прискорює налагодження системи.

Крім того, SIM900 часто доступний у вигляді так званих щитів (shields), які мають відповідний форм-фактор і можуть бути безпосередньо встановлені на плату Arduino Uno. Це виключає потребу в складному підключенні або використанні додаткових перехідників. Натомість SIM800, хоч і є технічно новішим модулем, зазвичай постачається у вигляді компактної автономної плати, яка потребує ручного підключення, а іноді й узгодження рівнів напруги, що ускладнює інтеграцію.

Окрім технічних міркувань, вибір SIM900 обумовлений і характером самого пристрою. Система виявлення диму проектувалася для стаціонарного використання з живленням від мережі, тому переваги SIM800 у меншому енергоспоживанні та компактності не були критичними. Натомість практичність і простота інтеграції SIM900 стали визначальними факторами.

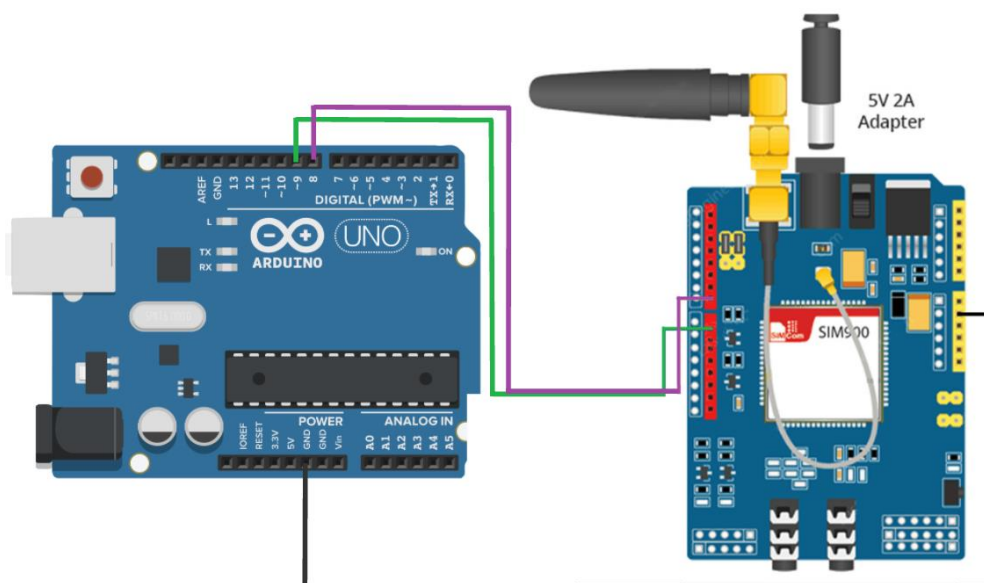


Рисунок 2.13 – Підключення модуля SIM900 до Arduino Uno

Зв'язок між Arduino Uno та модулем SIM900 зазвичай здійснюється через бібліотеку SoftwareSerial, яка дозволяє використовувати власні цифрові виводи (наприклад, D7 для RX та D8 для TX) замість стандартного послідовного порту. Це необхідно для підтримки моніторингу/налагодження послідовного порту через USB на апаратному UART.

Arduino взаємодіє з SIM900 за допомогою AT-команд - набору команд на основі ASCII, визначених стандартом GSM. Ці команди надсилаються з Arduino до модуля в коді, зазвичай після ініціалізації модуля та перевірки готовності до мережі. Відповіді модуля зчитуються назад в Arduino для перевірки успішного виконання.

У цій системі виявлення диму модуль SIM900 використовується для надсилання SMS-сповіщення на заздалегідь визначений номер телефону, коли датчик MQ-2 виявляє концентрацію газу або диму, що перевищує безпечний поріг. Ця функція дозволяє системі працювати автономно та інформувати користувача в режимі реального часу, навіть якщо нікого немає вдома, щоб почути звуковий сигнал.

2.7 Розробка апаратної частини системи

На рисунку 2.14 зображено повну схему підключення системи виявлення та сигналізації диму. Схема візуально показує, як усі ключові компоненти з'єднані між собою для формування повністю функціонального прототипу. Особливу увагу було приділено розташуванню модулів для забезпечення правильної маршрутизації сигналу, надійного розподілу живлення та цілісності даних між компонентами.

Ядром системи є Arduino Uno, який виконує роль центрального процесора. Він отримує аналоговий вхід від датчика диму та газу MQ-2, обробляє вхідні дані та виконує аналіз у режимі реального часу для виявлення наявності шкідливих газів або диму в навколишньому середовищі. Виявивши

значення, що перевищують визначений поріг, Arduino спрацьовує сповіщення.

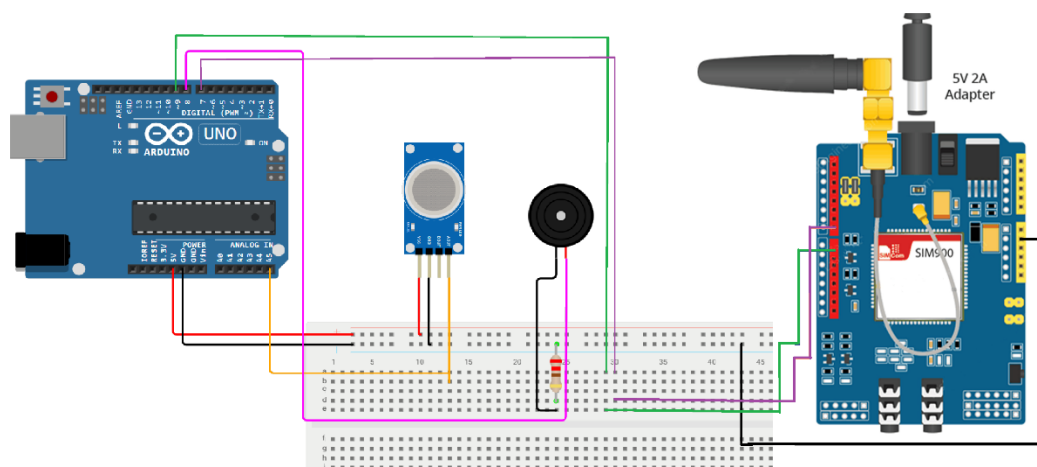


Рисунок 2.14 - Схема підключень компонентів системи

Механізм реагування включає два основні вихідні модулі. По-перше, активний зумер активується через один з цифрових вихідних контактів для забезпечення локальної звукової сигналізації, негайно сповіщаючи будь-кого поблизу. По-друге, Arduino надсилає серію AT-команд через з'єднання SoftwareSerial до GSM-модуля SIM900, який відповідає за надсилання SMS-сповіщень на заздалегідь визначений номер телефону.

На схемі підключення також показано налаштування блоку живлення, від якого живиться модуль SIM900. З'єднання виконані за допомогою макетної плати, що дозволяє проводити модульне та гнучке тестування на етапі розробки. Конструкція на макетній платі також спрощує усунення несправностей, модифікації та майбутні оновлення, якщо потрібно інтегрувати додаткові датчики або виходи.

Кожен провід і компонент на схемі було розміщено з ретельним урахуванням сумісності напруги та функціональності контактів. Особливу увагу було приділено уникненню поширених помилок, таких як конфлікти контактів, плаваючі входи та неправильні рівні живлення, особливо під час зв'язку між Arduino та GSM-модулем.

Схема підключення, показана на рисунку 2.14, була не тільки розроблена, але й успішно впроваджена в реальних умовах. Усі компоненти були підключені згідно зі схемою за допомогою макетної плати та перемичок, а система була протестована за різних сценаріїв для забезпечення стабільності та швидкодії. Arduino Uno правильно отримував вхідний сигнал від датчика MQ-2, а активний зумер забезпечував своєчасні локальні сповіщення при імітації диму. Особливу увагу було приділено GSM-модулю SIM900, який був протестований на правильність реєстрації в мережі та передачу SMS.

Під час роботи NetLight на SIM900 працював належним чином, вказуючи на успішне мережеве підключення повільним, регулярним миготінням. Світлодіод живлення також постійно світився, підтверджуючи належне живлення модуля. Ці візуальні індикатори відіграли вирішальну роль під час налагодження та підтверджували правильність зв'язку між модулями. Загалом, прототип працював надійно та відповідав усім функціональним вимогам проекту.

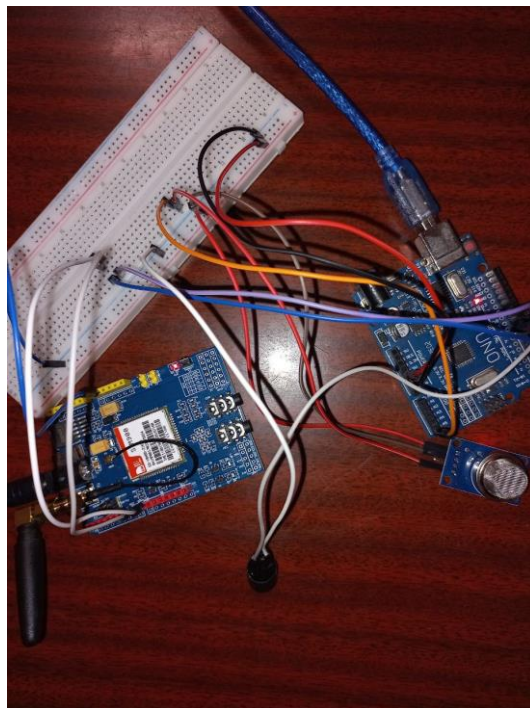


Рисунок 2.15 - Вигляд зібраної схеми

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОЇ ЧАСТИНИ ПРОЕКТУ

3.1 Arduino IDE

Для реалізації проекту розробка здійснювалася з використанням інтегрованого середовища розробки Arduino (IDE) - універсальної платформи з відкритим кодом, що широко використовується для програмування мікроконтролерів, зокрема тих, що базуються на архітектурі AVR, таких як ATmega328P, що використовується в Arduino Uno. Це середовище було обрано завдяки його простоті, кросплатформній сумісності та розгалуженій екосистемі, що значно пришвидшує створення прототипів та розгортання вбудованих систем.

Інтегроване середовище розробки Arduino IDE написано на Java та підтримує код, написаний спрощеною версією C/C++, спеціально адаптованою для вбудованих програм. Воно забезпечує зручний інтерфейс, який дозволяє писати, редагувати, компілювати та завантажувати код на плати, сумісні з Arduino, через USB або послідовний зв'язок. Однією з ключових переваг Arduino IDE є вбудований набір бібліотек, що спрощують роботу з апаратними модулями, такими як датчики, виконавчі механізми, модулі зв'язку та дисплеї. Це особливо важливо для проектів, що включають кілька апаратних компонентів, таких як детектори диму, GSM-модулі, зумери та інші компоненти.

У цьому конкретному проекті середовище розробки Arduino IDE було використано для програмування мікроконтролера для безперервного зчитування даних з датчика диму MQ-2 та їх оцінки відносно заданого порогу. Коли рівень диму перевищує цей поріг, система активує механізм сповіщення, включаючи зумер і одночасно надсилає сповіщення на мобільний телефон за допомогою модуля SIM900. Завдяки системі управління бібліотеками Arduino IDE стало можливим інтегрувати сторонні бібліотеки, такі як SoftwareSerial,

яка забезпечує послідовний зв'язок на цифрових контактах.

IDE надає інструмент моніторингу послідовного порту, необхідний для налагодження та моніторингу значень датчиків і реакцій модулів у режимі реального часу. Ця функція дозволила розробникам візуалізувати аналогові показники датчика та перевіряти реакції GSM-модуля на AT-команди під час розробки системи та усунення несправностей.

Середовище підтримує завантаження прошивки через USB та сумісне з багатьма платформами, включаючи Windows, macOS та Linux, що забезпечує гнучкість для студентів та розробників, які працюють у різних технічних середовищах.

Arduino IDE стало потужним та доступним середовищем для реалізації вбудованої системи в режимі реального часу, здатної виявляти дим та надсилати сповіщення. Його інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, багатий набір бібліотек, інструментів налагодження та безперешкодна інтеграція обладнання зробили його ідеальним вибором для розробки та тестування прототипу, що відповідає як освітнім, так і інженерним стандартам проектування вбудованих систем.

3.2 Розробка програмної частини системи

У рамках програмної частини було розроблено пристрій для виявлення диму за допомогою датчика, і якщо концентрація диму перевищує заздалегідь визначений поріг, він запускає зумер, надсилає SMS та здійснює дзвінок через GSM-модуль.

На початку ескізу включено бібліотеку SoftwareSerial, яка дозволяє послідовний зв'язок на контактах, відмінних від стандартних (0 та 1). GSM-модуль підключено за допомогою програмного послідовного порту на цифрових контактах 7 (RX) та 9 (TX), що дозволяє здійснювати зв'язок з модулем без перешкод для послідовного USB-з'єднання, що використовується для моніторингу через послідовний монітор. Оголошено кілька глобальних

змінних, включаючи `smstext` для зберігання текстового повідомлення, яке потрібно надіслати, `buz`, який є цифровим контактом, підключеним до зумера, та `smokeSensor`, який підключений до аналогового контакту A5. Також визначено порогове значення 100; якщо показник датчика диму перевищує цей поріг, система вважає, що дим виявлено.

Лістинг 3.1 - Ініціалізація змінних та підключення бібліотеки для GSM-зв'язку

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mysim(7,9); // connect gsm modem on this pin
String smstext;

int buz = 8; //buzzer connected to pin 8

const int smokeSensor = A5;
int threshold = 100;
```

У функції `setup()` ініціалізується послідовний зв'язок як для комп'ютера, так і для GSM-модуля з однаковою швидкістю. Вивід зумера встановлюється як вихід, а вивід датчика диму - як вхід. Спочатку зумер вимикається, щоб він не став активним. Потім система чекає п'ять секунд, щоб дати GSM-модулю достатньо часу для ініціалізації та готовності до прийому AT-команд.

Лістинг 3.2 – Налаштування системи в функції `setup()`

```
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    mysim.begin(9600);
    Serial.println("System is Initializing..");
    pinMode (buz, OUTPUT);
    pinMode (smokeSensor, INPUT);
    digitalWrite(buz, 0);
    delay(5000);
}
```

Функція `loop()` виконується повторно. Вона починається зі зчитування аналогового значення з датчика диму за допомогою `analogRead`. Це значення виводиться на монітор послідовного порту для отримання живого сигналу з виходу датчика. Якщо значення перевищує порогове значення, програма інтерпретує це як ознаку диму. Потім вона готує повідомлення тривоги та викликає функцію `sendSMS` для його надсилання через модуль GSM. Одночасно вона активує зумер, встановлюючи відповідний контакт у стан HIGH. Після короткої затримки в п'ять секунд програма ініціює телефонний дзвінок на заздалегідь визначений номер. Вона чекає 50 секунд, даючи час для проходження дзвінка та потенційної відповіді. Після цього вона завершує виклик.

Якщо ж дим не виявлено (тобто значення датчика залишається нижчим за поріг), зумер залишається у стані спокою. Система продовжує перевіряти рівень диму кожні 500 мілісекунд, забезпечуючи часті оновлення та швидку реакцію у разі раптового підвищення рівня диму.

Лістинг 3.3 – Основний цикл роботи системи (`loop`)

```
void loop() {
    int ppm = analogRead(smokeSensor);
    Serial.print("Smoke sensor value: ");
    Serial.println(ppm);

    if (ppm > threshold)
    {
        smstext = "\nSmoke Detected..!";
        sendSMS(smstext);
        Serial.println(smstext);
        digitalWrite(buz, HIGH);
        delay(5000);
        mysim.println("ATD+380688994679;");
        updateSerial();
        Serial.println("Calling ");
        delay(50000);
        mysim.println("ATH");
        updateSerial();
        Serial.println("Hangup Call");
    }
}
```

```

    }
    else
    {
        digitalWrite(buz, LOW);
        Serial.println("No Smoke detected");
    }
    delay (500);
}

```

Функція `sendSMS()` обробляє процес надсилання SMS. Вона надсилає серію AT-команд до GSM-модуля для налаштування його текстового режиму (`AT+CMGF=1`), визначення номера телефону одержувача (`AT+CMGS="..."`), а потім надсилає власне повідомлення. Ця функція включає навмисні затримки та виклики `updateSerial()` для забезпечення належного зв'язку та уникнення проблем із синхронізацією з GSM-модулем.

Лістинг 3.4 – Відправка SMS через GSM-модуль

```

void sendSMS(String message)
{
    mysim.print("AT+CMGF=1\r");
    updateSerial();
    delay(1000);

    mysim.println("AT+CMGS=\""+380688994679\"");
    updateSerial();
    delay(1000);

    mysim.println(message);
    updateSerial();
    delay(1000);

    mysim.println((char)26);
    updateSerial();
    delay(1000);

    mysim.println();
    delay(100);
}

```

Функція `updateSerial()` служить утилітою для з'єднання апаратного послідовного інтерфейсу Arduino та програмного послідовного з'єднання з

модулем GSM. Вона перевіряє наявність доступних даних на обох кінцях та пересилає їх відповідно.

Лістинг 3.5 – Обмін даними між Serial Monitor та GSM-модулем

```
void updateSerial()
{
  delay(500);
  while (Serial.available())
  {
    mysim.write(Serial.read());
  }
  while(mysim.available())
  {
    Serial.write(mysim.read());
  }
}
```

Загалом, цей пристрій реалізує просту, але ефективну систему виявлення диму та оповіщення, яку можна застосовувати для виявлення пожежі та дистанційного інформування.

4 РОЗВИТОК ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЄКТУ

Розроблений детектор диму на базі Arduino з функцією повідомлення на телефон є функціональним прототипом, який має значний потенціал для подальшого розвитку та вдосконалення. Нижче представлені ключові напрямки, які можуть бути реалізовані для розширення функціоналу, підвищення надійності та сфери застосування системи.

4.1. Можливі покращення та розширення функціоналу

У межах подальшого розвитку проєкту можлива реалізація низки функціональних удосконалень, які дозволять перетворити пристрій на багатофункціональну та інтелектуальну систему безпеки з широкими можливостями інтеграції, керування та адаптації до конкретних потреб користувача.

Одним із перспективних напрямів удосконалення є інтеграція з системами «Розумного дому» (IoT). Додавання модуля Wi-Fi (наприклад, ESP8266 або ESP32) або Ethernet дасть змогу підключити пристрій до локальної мережі та інтегрувати його з хмарними сервісами, такими як Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit, Blynk або Thingspeak. Завдяки цьому користувачі зможуть у режимі реального часу отримувати push-повідомлення на смартфон, переглядати стан системи, аналізувати історію спрацьовувань та зберігати логи у хмарному сховищі. Крім того, у рамках концепції «розумного дому» пристрій може ініціювати автоматичні дії - наприклад, вмикати освітлення, відкривати вікна, вимикати електроприлади - у відповідь на виявлення диму або інших небезпек, що значно підвищує рівень безпеки.

Іншим напрямом удосконалення є створення мультисенсорної системи, яка, окрім виявлення диму, включатиме датчики чадного газу (CO), метану (CH₄) та інших небезпечних газів. Такий підхід дозволить здійснювати

комплексний моніторинг повітря в приміщенні. Додаткове використання датчиків температури та вологості дасть змогу не лише своєчасно виявляти потенційні пожежі, а й контролювати мікроклімат для попередження утворення конденсату та розвитку цвілі.

Важливою функцією є дистанційне керування та налаштування: користувач зможе віддалено вмикати або вимикати пристрій, змінювати порогові значення спрацьовування та перевіряти поточний стан системи через SMS-команди або мобільний додаток. Це особливо корисно у випадках, коли доступ до пристрою фізично ускладнений або відсутній.

Голосове оповіщення та звукова сигналізація також можуть стати частиною покращеного функціоналу. Встановлення міні-динаміка або спеціального модуля дасть можливість відтворювати заздалегідь записані голосові попередження про небезпеку, а також генерувати різні звукові сигнали залежно від типу виявленої загрози - наприклад, диму, витоку газу або перегріву.

З метою підвищення автономності роботи може бути реалізована підтримка енергоефективного режиму живлення. Оптимізація споживання енергії дозволить пристрою довше працювати від батарей або акумулятора. Додатково можна передбачити можливість заряджання від альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних панелей, що є актуальним для віддалених або тимчасових об'єктів.

У випадку відсутності доступу до мережі важливою стане функція локального зберігання даних. Додавання SD-карти або вбудованої пам'яті забезпечить збереження логів подій - зокрема, часу спрацьовування, показань датчиків і відправлених повідомлень - для подальшого аналізу або відновлення історії роботи пристрою.

Також можливе розширення функціоналу сповіщень: надсилання тривожних повідомлень не лише на один, а на кілька номерів телефонів одночасно, а також впровадження надсилання електронних листів на вказані e-mail-адреси. Це дозволить залучити більше відповідальних осіб до

реагування у разі небезпеки та зробить систему ще надійнішою.

Таким чином, подальша модернізація пристрою відкриває широкі можливості для його застосування в інтелектуальних системах безпеки, екологічного моніторингу та автоматизованого керування середовищем.

4.2. Застосування в інших сферах

Модифікована та масштабована версія розробленої системи виявлення диму має значний потенціал для застосування в різних галузях, що виходять за межі лише домашнього використання. Завдяки універсальності конструкції, доступності компонентів і можливості адаптації до конкретних умов, система може бути ефективно використана у багатьох сферах.

У промисловості та виробництві така система може виконувати функцію моніторингу потенційно небезпечних зон, зокрема на заводах, складах, у виробничих цехах, де існує ризик появи диму, горючих газів або раптового підвищення температури. Своєчасне виявлення таких змін дозволяє мінімізувати загрози для працівників та обладнання.

У сільському господарстві пристрій може використовуватися для контролю можливого загоряння в зерносховищах, теплицях або стайнях. Крім того, його можна адаптувати для моніторингу параметрів мікроклімату в тваринницьких приміщеннях, зокрема температури та концентрації шкідливих газів, таких як аміак.

Комерційні об'єкти, офіси, магазини та заклади громадського харчування також можуть бути оснащені подібними системами для підвищення пожежної безпеки. Особливо актуальним це є в нічний час або у вихідні дні, коли персонал відсутній, а ризики можуть залишатися непоміченими.

Ще одним напрямом застосування є транспорт – ця система може бути встановлена в автомобілях, вантажівках, човнах, а також у гаражах або

підземних паркінгах, де ризик виникнення пожежі пов'язаний з наявністю пального та електрообладнання.

Особливу цінність система становить для віддалених об'єктів, які не перебувають під постійним наглядом, наприклад, дачних будинків, насосних станцій, трансформаторних підстанцій чи базових станцій мобільного зв'язку. У таких випадках можливість GSM-оповіщення дозволяє оперативно отримати інформацію про виникнення загрози.

Окрім безпекових завдань, розширена версія системи може бути використана і в сфері екологічного моніторингу - наприклад, для виявлення викидів забруднюючих речовин у повітря на визначених територіях. Це відкриває перспективи інтеграції системи в ширший контекст охорони довкілля та сталого розвитку.

4.3. Масштабованість системи

Розроблена система виявлення диму має значний потенціал для масштабування, що відкриває можливість її використання не лише в межах одного приміщення, а й для моніторингу великих територій або цілих груп об'єктів. Завдяки гнучкості архітектури та використанню сучасних бездротових технологій, систему можна адаптувати до потреб різних сфер - від приватних будинків до промислових чи сільськогосподарських комплексів.

Одним із підходів до масштабування є створення мережевих рішень, які передбачають використання декількох сенсорних вузлів, що передають зібрані дані до центрального концентратора (шлюза). Для зв'язку між вузлами можуть застосовуватись такі бездротові технології, як LoRa, Zigbee або Wi-Fi Mesh, які забезпечують надійне з'єднання навіть на великих відстанях. Концентратор, у свою чергу, відповідатиме за обробку сигналів та надсилання сповіщень через GSM або інші канали. Це дозволяє ефективно покривати великі площі, зменшуючи загальну кількість GSM-модулів, що знижує

вартість системи.

Ще одним напрямом розвитку є створення розподіленої архітектури, у якій кожен детектор працює як автономний вузол. Такі вузли можуть самостійно реагувати на загрози, але також мають здатність об'єднуватися в єдину мережу для централізованого моніторингу. Такий підхід поєднує надійність автономної роботи з перевагами централізованого управління і дозволяє масштабувати систему без суттєвих змін у її структурі.

Для зручності впровадження на об'єктах з різними умовами експлуатації доцільно реалізувати модульний підхід. Він передбачає розробку уніфікованих функціональних блоків, таких як сенсорний модуль, комунікаційний модуль і модуль живлення. Це дозволяє створювати індивідуальні конфігурації системи відповідно до конкретних потреб наприклад, у приміщеннях з хорошим Wi-Fi покриттям можна обрати відповідну комунікаційну плату, тоді як у віддалених районах використовувати GSM-модулі або LoRa.

Завдяки такій гнучкості масштабована версія системи може бути адаптована до найрізноманітніших сценаріїв використання, забезпечуючи високу ефективність, зручність експлуатації та оптимізацію витрат.

ВИСНОВОК

У ході кваліфікаційної роботи було виконано комплексне дослідження та реалізовано прототип детектора диму на базі мікроконтролера Arduino UNO з функцією надсилання повідомлень на смартфон за допомогою модуля SIM900. Такий пристрій призначений для раннього виявлення ознак пожежі та своєчасного сповіщення користувача, що є особливо актуальним в умовах високої щільності забудови та обмеженого часу на евакуацію.

У процесі роботи було проаналізовано історичний розвиток технологій виявлення диму та проведено порівняльний аналіз сучасних сенсорних рішень. Особливу увагу приділено вибору датчика MQ-2, який показав оптимальне співвідношення чутливості до побутових газів і диму, простоти інтеграції та доступності. Порівняння з іншими датчиками серії MQ, а також із серійними комерційними детекторами, дозволило обґрунтовано підтвердити доцільність застосування саме цієї моделі у прототипі.

Отримані знання та практичні навички у сфері проектування електронних систем, програмування мікроконтролерів та роботи з сенсорами можуть бути використані в майбутніх навчальних, дослідницьких або прикладних проєктах. Крім того, створений пристрій може слугувати основою для подальшого розвитку, наприклад, шляхом інтеграції з Інтернетом речей або включення до системи «розумного будинку».

Саморобна система на базі Arduino і датчика MQ-2, незважаючи на потребу в налаштуванні, відзначається гнучкістю, можливістю модернізації та низькою собівартістю, що робить її привабливим варіантом для освітніх цілей, домашнього використання та дослідницьких експериментів.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ethan Thorpe. *Arduino: Advanced Methods and Strategies of Using Arduino*. - Independently Published, 2020. - 223 p.
2. John Boxall. *Arduino Workshop: A Hands-On Introduction with 65 Projects*. - 1st ed. - San Francisco : No Starch Press, 2013. - 392 p.
3. Zandamela, A.A. *Electrical Engineering: An International Journal (EEIJ)* [Електронний ресурс]. - 2017. - Vol. 4, No. 2/3. - Режим доступу: <https://airccse.com/eeij/papers/4317eeij01.pdf>
4. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Аналітична довідка про пожежі за січень-липень 2020 року [Електронний ресурс]. - Київ, 2020. - Режим доступу: <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/4/6/7/2020-documenty-statistika-analitychna-dovidka-pro-pojeji-072020.pdf>
5. Modeling Faults as Addresses / [V. Hahanov, I. Hahanov, A. Miroshnyk et al.] // *East-West Design & Test Symposium (EWDTS'23)*, Batumi, Georgia, Sept. 22-25, 2023: proceedings. – IEEE. – P. 1–7.
6. Nacimahmud V. Vector logic analysis of big data / V. Nacimahmud , H. Khakhanova, E. Litvinova // *East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, Batumi, Georgia, 22-25 September 2023: proceedings. – IEEE, 2023. – P. 1–4.
7. Векторно-логічне моделювання несправностей / В.І. Хаханов, С.В. Чумаченко, Є.І. Литвинова та ін. // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2023. – №2 (65). – С.37–51.
8. Siregar R. F., Affandi, Rohana, Nasution A. R., Tanjung I. IoT Smart Control System: Smoke and Fire Detection Using SIM900A Module // *Journal of Electrical Technology UMY*. – 2023. – Vol. 7, No. 2 (Dec.). – P. 48–55. – ISSN 2550-1186. – e-ISSN 2580-6823.