

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

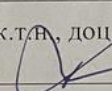
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:
«МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАСІБ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ»

Виконав: студент 4 курсу, групи ІСП-216
спеціальності

123 Комп'ютерна інженерія
освітня програма «Системне програмування»

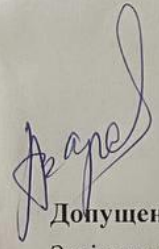
Вершняк Д.С. 

Керівник: к.т.н., доц. каф. ОТ

 Тарновський М.Г.

Рецензент: к.т.н., доцент каф.ПЗ

Романюк Оксана Володимирівна 

 **Допущено до захисту**

Завідувач кафедри ОТ

д.т.н., проф. Азаров О. Д.

«16» червня 2025 р.

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

ЗАТВЕРДЖУЮ



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

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Вершняку Дмитру Сергійовичу

1 Тема роботи «МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАСІБ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ», керівник роботи к.т.н., доц. Тарновський М. Г, затверджені наказом ВНТУ від «20» березня 2025 року №97.

2 Термін подання студентом роботи 13.05.2025

3 Вихідні дані до роботи: призначення — виявлення первинних ознак пожежі; кількість контрольованих параметрів — не менше 2; зовнішній інтерфейс — бездротовий; живлення — зовнішнє джерело постійної напруги; середовище розробки — Arduino IDE.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки: вступ; обґрунтування доцільності роботи; порівняльний огляд аналогів; проектування мікропроцесорного засобу пожежної сигналізації; програмування мікропроцесорного засобу пожежної сигналізації.

5 Перелік графічного матеріалу: структурна схема, функціональна схема, макет приладу.

6 Консультанти розділів роботи приведені в таблиці 1.

7 Дата видачі завдання «21» березня 2025 р.

8 Календарний план виконання БКР приведені в таблиці 2.

Таблиця 1 — Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	к.т.н., доц. каф. ОТ Тарновський М. Г.	21.03.25	13.06.25
Нормоконтроль	ас. каф. ОТ Швець С. І.	14.05.25	30.05.25

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання комплексної бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи	21.03.25	виконано
2	Пошук матеріалів та інформаційних джерел	21.03.25 — 30.03.25	виконано
3	Аналіз існуючих прототипів та визначення вимог до приладу	21.03.25 — 30.03.25	виконано
4	Вибір елементної бази	31.03.25 — 10.04.25	виконано
5	Створення та програмування приладу	10.04.25 — 20.04.25	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	20.04.25 — 11.05.25	виконано
7	Перевірка якості виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи	13.05.25	виконано
8	Усунення недоліків	13.05.25 — 30.05.25	виконано

Студент



(підпис)

Керівник роботи



(підпис)

Вершняк Д.С.

Тарновський М. Г.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.3

Вершняк Д.С. Мікропроцесорний засіб пожежної сигналізації. З «Комп'ютерна інженерія», освітня програма «Системне програмування». Вінниця: ВНТУ, 2025. 76.

На укр. мові. Бібліогр.: 20 назв; рис.: 33; табл. 8.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено мікропроцесорну систему пожежної сигналізації з можливістю надсилання сповіщень користувачу через месенджер Telegram. Вона дозволяє підвищити рівень пожежної безпеки у побутових приміщеннях і на малих об'єктах завдяки оперативному виявленню небезпечних факторів — диму, високої температури або відкритого полум'я.

У загальній частині роботи розглянуто класифікацію пожежних сповіщувачів, проаналізовано сучасні рішення в цій галузі, а також обґрунтовано доцільність використання мікроконтролера ESP32. У розрахунково-конструкторській частині виконано розробку структурної та електричної схем пристрою, підбрано необхідні сенсори та модулі. У технологічній частині здійснено розробку програмного забезпечення для зчитування даних із сенсорів, реалізацію алгоритмів аналізу загроз, а також налаштування Telegram-бота для дистанційного моніторингу та керування системою.

Ключові слова: Мікропроцесорний засіб пожежної сигналізації, Інтернет речей (IoT), датчики газу, датчики вогню, датчики температури.

ABSTRACT

Vershniak D.S. Microprocessor-based fire alarm system. 3 “Computer Engineering”, educational program “System Programming”. Vinnytsia: VNTU, 2025. 76.

In Ukrainian. Bibliography: 20 titles; Figures: 31; Table 8.

The bachelor's qualification work developed a microprocessor-based fire alarm system with the ability to send notifications to the user via the Telegram messenger. It allows you to increase the level of fire safety in domestic premises and small facilities through the rapid detection of hazards such as smoke, high temperature, or open flames.

In the general part of the paper, we consider the classification of fire detectors, analyze modern solutions in this area, and justify the feasibility of using the ESP32 microcontroller.

In the design and development part, the structural and electrical schemes of the device were developed, the necessary sensors and modules were selected.

In the technological part, we have developed software for reading data from sensors, implementing threat analysis algorithms, and setting up a Telegram bot for remote monitoring and control of the system.

Keywords: Microprocessor-based fire alarm system, Internet of Things (IoT), gas sensors, fire sensors, temperature sensors.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСІ.....	5
1.1 Принцип роботи пожежної сигналізації.....	5
1.2 Історія розвитку систем пожежної сигналізації	7
1.3 Сучасні технології в пожежній безпеці	8
1.4 Огляд аналогів.....	10
2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩЕННЯ.....	17
2.1 Класифікація пожежних сповіщувачів.....	17
2.2 Рекомендації щодо вибору та розміщення пожежних сповіщувачів.....	28
3 ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ	30
3.1 Розробка структурної схеми пожежної сигналізації	30
3.2 Вибір елементної бази	31
3.3 Розробка функціональної схеми.....	43
3.4 Створення коду у середовищі Arduino Ide.....	47
3.5 Створення телеграм боту.....	54
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	59
ДОДАТОК А Технічне завдання.....	61
ДОДАТОК Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	65
ДОДАТОК В Графічна частина.....	66
ДОДАТОК Г Ілюстративна частина.....	68
ДОДАТОК Д Лістинг програмного забезпечення.....	70

ВСТУП

Забезпечення безпеки людини та захист майна є одним із головних пріоритетів сучасного суспільства. Пожежі, як одна з найнебезпечніших загроз, можуть призвести до значних матеріальних втрат, шкоди здоров'ю або навіть загибелі. Тому розробка ефективних систем раннього виявлення займання та сповіщення про небезпеку залишається актуальною технічною та соціальною проблемою.

Актуальність теми визначається зростанням кількості побутових пожеж, застарілою електропроводкою у багатьох будинках та потребою у доступних засобах безпеки. Впровадження мікропроцесорної системи з віддаленим моніторингом дозволить своєчасно реагувати на небезпеку та мінімізувати ризики для життя і здоров'я.

На сьогоднішній день на ринку існує безліч комерційних систем пожежної сигналізації. Однак значна частина з них є дорогими, складними в налаштуванні або потребують централізованої інфраструктури. Це обмежує їх доступність для індивідуального використання, особливо у побутових умовах або для малих підприємств. У зв'язку з цим зростає інтерес до створення недорогих, автономних, енергоефективних рішень на базі мікроконтролерів та сенсорів, здатних виявляти небезпечні ситуації і своєчасно сповіщати користувача.

Розвиток технологій Інтернету речей (IoT) відкриває нові можливості у сфері пожежної безпеки. Зокрема, використання мікроконтролера ESP32 дозволяє створити компактну та економічну систему, здатну не лише виявляти загрозу за допомогою датчика полум'я, MQ-2 (датчик диму та газів) і DHT11 (датчик температури та вологості), а й передавати сповіщення у режимі реального часу через мережу Wi-Fi, наприклад, за допомогою Telegram-бота.

Метою роботи є розширення функціональних можливостей засобів пожежної сигналізації.

Для виконання поставленої мети потрібно виконати такі **завдання**:

- аналіз апаратних та програмних рішень у сфері пожежної сигналізації;
- вибір оптимальних сенсорів для виявлення пожежі;
- розробка схеми підключення компонентів до мікроконтролера ESP32;
- програмування логіки опрацювання даних з датчиків та умов спрацьовування сигналізації;
- реалізація відправки сповіщень користувачу у Telegram через Wi-Fi.

Об’єкт дослідження — процеси виявлення ознак пожежі та сповіщення про них у автоматизованих системах безпеки.

Предмет дослідження — мікропроцесорна система пожежної сигналізації на базі ESP32 із підключенням відповідних сенсорів та функцією віддаленого сповіщення користувача через месенджер.

Методи дослідження, використані у даній роботі, включають системний аналіз для вивчення та оцінки існуючих рішень у сфері пожежної сигналізації. Для створення апаратної частини застосовувалися методи схемотехнічного проектування, що дозволило розробити ефективну та надійну структуру пристрою. Програмна частина реалізовувалась із використанням об’єктно-орієнтованого програмування, що забезпечило модульність і зручність підтримки коду. Крім того, для перевірки працездатності та якості системи застосовувалися методи модульного тестування, що дозволили своєчасно виявляти та виправляти можливі помилки.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Принцип роботи пожежної сигналізації

Загрози й ризики, що виникають у результаті пожежі, часто перевершують можливі наслідки від інших подій. Тому на сьогодні значна увага приділяється створенню автоматичного протипожежного захисту (АПЗ), що дозволяє захистити життя і здоров'я людей та вберегти від вогню матеріальні цінності. Вимоги до систем, що покликані вирішувати такі важливі завдання, закріплені на законодавчому рівні.

Системи АПЗ (системи протипожежного захисту) — це комплекс складних технічних пристроїв, що забезпечують пожежну безпеку людей, технологічного обладнання, матеріальних цінностей і будівельних конструкцій будівель та споруд. Такі системи без участі людини виявляють загоряння, подають сигнал тривоги й ліквідують пожежі на початковій стадії їх розвитку, і навіть допомагають людям у процесі евакуації. Вони є невід'ємною частиною оснащення сучасних будівель і споруд засобами техніки безпеки й охорони праці [1].

Розвиток пожежі відбувається у кілька етапів. Розуміння етапів розвитку пожежі є важливим для побудови систем пожежної сигналізації, які здатні своєчасно і точно виявляти небезпеку. У першій фазі відбувається займання легкозаймистих матеріалів у певній зоні. На цій стадії пожежа ще локалізована, полум'я невелике, і пожежна система може виявити перші ознаки загоряння (дим, тепло, світло полум'я). Завдяки сучасним датчикам полум'я та диму, система має реагувати максимально швидко, щоб запобігти розповсюдженню вогню.

Настпний етап — розвиток пожежі. На цьому етапі пожежа поширюється, полум'я охоплює більшу площу, а температура в зоні загоряння значно зростає. Відбувається активне виділення диму, продуктів горіння і тепла. Ефективність виявлення пожежі в цей період залежить від точності і швидкодії датчиків, а також надійності алгоритмів обробки сигналів.

Третій етапом є максимальна фаза пожежі, коли горіння досягає найвищої інтенсивності. Поширення вогню швидке, продукти горіння та температура досягають критичних значень. На цьому етапі пожежна система повинна вже бути в стані ініціювати сигнал тривоги, активувати пожежогасіння (якщо передбачено) і передати повідомлення про загрозу відповідальним особам або службам.

Заключним етапом є згасання (послаблення пожежі). Пожежа починає слабшати через відсутність горючого матеріалу або вплив заходів пожежогасіння. В цей час система пожежної сигналізації може продовжувати моніторинг і підтримувати інформування про залишкову загрозу.

Відповідно до розглянутих фаз системи пожежної сигналізації повинні:

- виявляти ознаки пожежі на ранній стадії;
- передавати тривожні сповіщення до пристроїв передавання пожежної тривоги та попередження про несправність;
- формувати сигнали управління для систем протипожежного захисту та іншого інженерного обладнання, що задіяне при пожежі;
- сигналізувати про виявлену несправність, яка може негативно впливати на нормальну роботу СПС.

Системи пожежної сигналізації не повинні:

- підпадати під несприятливий вплив інших систем незалежно від того, з'єднані вони з ними чи ні;
- виходити з ладу (частково або повністю) через вплив на них вогню або явища, для виявлення якого вони призначені, до того, як вогонь чи це явище було виявлено;
- реагувати на інші явища, не пов'язані з виявленням пожежі.

Складові пожежної сигналізації: центральний контролер — це ключовий елемент системи пожежної сигналізації, який здійснює моніторинг і керування усіма підключеними компонентами. Він приймає сигнали від ініціувальних пристроїв, обробляє отриману інформацію та визначає необхідність спрацювання сигналізації. Крім того, контролер постійно перевіряє цілісність

системи, її працездатність та справність з'єднань, а також формує та передає керуючі сигнали до виконавчих елементів, таких як сирени або пристрої зв'язку [1].

Сенсори пожежної сигналізації — є компоненти, які відповідають за виявлення ознак пожежі та активацію системи. Їх також називають пристроями введення. Вони поділяються на автоматичні (наприклад, датчики диму, температури, полум'я або газу), що реагують на фізичні зміни в навколишньому середовищі, та ручні (наприклад, кнопки тривоги), які активуються людиною у разі виявлення загрози.

Сповіщувачі — це пристрої, призначені для інформування людей про виникнення надзвичайної ситуації. Вони використовують різні типи сигналів: звукові, світлові та іноді нюхові (наприклад, розпилення специфічного запаху для людей з вадами зору чи слуху). Найбільш поширеними є аудіовізуальні сповіщувачі, які поєднують гучний звуковий сигнал (дзвінок, сирену або гудок) з миготливим червоним або білим світлом (стробоскопом). Такий підхід забезпечує максимальну ефективність попередження незалежно від умов освітлення або шумового фону [2].

1.2 Історія розвитку систем пожежної сигналізації

Історія систем пожежної сигналізації розпочалася задовго до появи сучасних електронних технологій. Перші спроби виявлення пожеж полягали у візуальному або звуковому моніторингу — сторожі, які патрулювали територію, били у дзвони або барабани при виявленні вогню. Такий підхід був малоефективним і залежав від людського фактора.

З початку XIX століття, разом із розвитком телеграфного зв'язку, почали з'являтися перші системи автоматичного повідомлення про пожежу. У 1852 році у США була запатентована система, яка дозволяла передавати сигнал про пожежу за допомогою телеграфу — оператор міг повідомити пожежну службу, натиснувши кнопку на спеціальному пункті сигналізації. Такі системи були поширені у містах і мали централізований

характер (рис 1.1).



Рисунок 1.1 — Телеграфна пожежна сигналізація

Наступний крок розвитку стався у XX столітті з появою електричних теплових і димових датчиків. У 1930–1960-х роках розроблялися та впроваджувалися пристрої, що реагували на перевищення температури або наявність продуктів горіння в повітрі. Спочатку вони використовувалися переважно у промислових приміщеннях, однак згодом почали інтегруватися у житлові будівлі.

З появою мікропроцесорної техніки у 1970–1980-х роках з'явилися інтелектуальні системи пожежної сигналізації. Такі системи не лише виявляли загрозу, але й аналізували ситуацію, зменшуючи кількість хибних спрацювань, і могли взаємодіяти з іншими системами безпеки.

У XXI столітті системи пожежної сигналізації стали ще більш автономними, енергоефективними та розумними. Завдяки розвитку мікроконтролерів, сенсорних технологій і бездротових мереж з'явилися компактні, недорогі пристрої, які можуть ефективно виявляти небезпеку й оперативно повідомляти користувачів навіть у віддалених місцях.

1.3 Сучасні технології в пожежній безпеці

З розвитком науки і техніки системи пожежної безпеки зазнали значної трансформації. Традиційні дротові сигналізації з простими сповіщувачами поступово доповнюються або замінюються на більш інтелектуальні рішення з використанням цифрових технологій, бездротового зв'язку та аналізу даних в реальному часі.

Одним із важливих напрямів є інтелектуалізація систем, тобто впровадження алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу ситуацій. Такі системи здатні відрізнити реальні загрози від хибних тривог, враховувати тип об'єкта, час доби, тип приміщення та інші чинники, що дозволяє підвищити точність виявлення.

Суттєво поширюється застосування бездротових сенсорів, що особливо актуально для історичних будівель або приміщень, де монтаж кабелів неможливий або економічно недоцільний. Такі датчики працюють на акумуляторах і передають інформацію через протоколи ZigBee, LoRa, Wi-Fi, NB-IoT тощо.

Велике значення має інтеграція з іншими системами безпеки — відеоспостереженням, системами контролю доступу, автоматичним гасінням. Це дозволяє створити єдиний інформаційний простір для оперативного реагування на надзвичайні ситуації.

Ще одним технологічним трендом є використання хмарних рішень для зберігання історії подій, аналізу статистики тривог та централізованого управління кількома об'єктами одночасно. Такі системи легко масштабуються та не потребують складного обслуговування.

Нарешті, мобільні додатки та веб-інтерфейси стали невід'ємною частиною сучасних систем. Вони забезпечують зручність моніторингу та сповіщення власника у будь-який час і в будь-якому місці.

Мікропроцесорні технології відіграють ключову роль у формуванні нової генерації доступних, надійних і розумних систем пожежної сигналізації.

Завдяки своїй низькій вартості, компактності та гнучкості конфігурування, мікроконтролери стали основою для створення пристроїв, здатних функціонувати як у побутових умовах, так і на невеликих підприємствах.

Однією з головних переваг мікроконтролерів є можливість інтеграції кількох сенсорів і функцій в одному пристрої. Наприклад, на базі ESP32 можна підключити датчики температури, диму, полум'я, газу, вологості, а також дисплеї, кнопки, світлодіоди, модулі зв'язку тощо. Це дозволяє будувати багатофункціональні системи з широкими можливостями адаптації до конкретних умов.

Використання мікроконтролерів також дозволяє реалізувати розумну обробку даних безпосередньо на пристрої, що скорочує час реагування та зменшує навантаження на мережу. Пристрій може локально приймати рішення про небезпеку на основі заданих алгоритмів, зберігати логи подій і передавати повідомлення лише у разі загрози.

Завдяки вбудованим модулям зв'язку, таким як Wi-Fi або Bluetooth, мікроконтролери можуть бути частиною локальної або глобальної мережі. Це відкриває можливість дистанційного моніторингу, оновлення програмного забезпечення, керування пристроєм із мобільного додатку або через інтернет.

Мікропроцесорні рішення, як правило, енергоефективні, що дозволяє застосовувати їх у автономному режимі від батарей або сонячних панелей. Це особливо важливо для сільських територій або мобільних об'єктів, де немає стабільного електроживлення.

Крім того, модульність мікропроцесорних систем дає змогу поступово розширювати функціонал без повного демонтажу існуючого обладнання, що робить такі рішення економічно вигідними в довгостроковій перспективі.

1.4 Огляд аналогів

Одним з аналогів розроблюваного пристрою є Димовий пожежний сповіщувач CV-212-12 (рис. 1.10).

Димовий пожежний сповіщувач CV-212-12 є автономним пристроєм для

виявлення диму, що може бути використаний як елемент системи пожежної сигналізації у проєктованій системі. Він призначений для раннього виявлення пожежі в закритих приміщеннях житлового, офісного або громадського призначення. Однією з ключових переваг пристрою є його автономна робота без необхідності підключення до зовнішнього джерела живлення.



Рисунок 1.2 — Сповіщувач CV-212-12

CV-212-12 оснащений вбудованою літієвою батареєю на 3 В, яка забезпечує до 10 років безперервної роботи. Пристрій забезпечує гучність звукового сигналу не менше 85 дБ на відстані трьох метрів, що дозволяє швидко попередити людей про небезпеку.

Серед інших технічних характеристик слід відзначити високу чутливість — від 0,05 дБ/м, низьке енергоспоживання — до 2 мкА в черговому режимі, а також широкий робочий температурний діапазон від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Завдяки ступеню захисту IP40, пристрій підходить для встановлення в стандартних побутових умовах. Сповіщувач має компактні розміри (105×105×59) мм та вагу 150 г, що спрощує його монтаж у різних типах приміщень.

Загалом, димовий пожежний сповіщувач CV-212-12 — це сучасний, простий у використанні та надійний пристрій для забезпечення пожежної безпеки. Його автономна робота, висока чутливість, гучний сигнал тривоги та можливість групового з'єднання роблять його ефективним рішенням для

житлових або офісних приміщень. Однак для забезпечення належної роботи необхідно враховувати обмеження, пов'язані з терміном служби батареї та періодично перевіряти пристрій на справність. Також серед недоліків слід відзначити неможливість заміни елемента живлення після вичерпання ресурсу батареї — після 10 років пристрій підлягає повній заміні. Крім того, можливе хибне спрацювання на сторонні фактори, такі як пар, дим від приготування їжі або пил, що може створювати незручності у побутових умовах. Через невисокий ступінь захисту від вологи (IP40), встановлення пристрою у вологих або запилених приміщеннях (наприклад, ванних кімнатах або майстернях) не рекомендується. Основний список характеристик наведено у таблиці 1.1.

Ще одним з аналогів є TriniX TRX-SD01 (рис. 1.1). WiFi-пожежний сповіщувач TriniX TRX-SD01 є сучасним засобом раннього виявлення загоряння, що може виступати альтернативним варіантом для реалізації проєктованої системи. Це автономний пристрій, який забезпечує виявлення диму в приміщенні та сповіщення користувача за допомогою гучної сирени та повідомлення на мобільний телефон через WiFi-з'єднання. Підтримка хмарного сервісу та мобільного додатка дозволяє в режимі реального часу отримувати тривожні сигнали, навіть перебуваючи поза межами приміщення.

Таблиця 1.1 — Характеристики CV-212-12

Тип сповіщувача	димовий
Напруга живлення	3 В
Мін. робоча температура	-10 С
Макс. робоча температура	+50 С
Клас захисту	IP 30
Гучність звукового сигналу	85.0 дБ на відстані 1 м
Захищувана площа	60 м ²
Елемент живлення	не з'ємний, літійовий

Trinix TRX-SD01 має компактний дизайн і легко монтується на стелю за допомогою стандартних кріплень. Живлення здійснюється від вбудованого акумулятора з можливістю заряджання через порт microUSB, що є зручним для побутового використання. Пристрій має вбудовану сирену з гучністю до 85 дБ, яка миттєво активується при виявленні диму. Завдяки цифровій обробці сигналів сенсора, TRX-SD01 демонструє високу точність виявлення та знижує ймовірність хибних спрацювань.



Рисунок 1.3 — Сповіщувач TRX-SD01

До переваг пристрою можна віднести його повну автономність, відсутність потреби в центральному хабі, підтримку віддаленого сповіщення, а також можливість повторного використання завдяки перезаряджуваній батареї. Робочий температурний діапазон дозволяє використовувати його в побутових умовах — від 0 до +50°C.

Попри зручність, у цього пристрою є й певні обмеження. Наприклад, Trinix TRX-SD01 не може виявляти зміну температури, тож його можливості поступають більш функціональним, комбінованим моделям. Ще один момент — акумулятор потребує періодичної підзарядки, і це варто враховувати: доведеться стежити, щоб він не розрядився в критичний момент.

У цілому Trinix TRX-SD01 добре підходить для домашнього використання. Його легко встановити, він підключається до WiFi і може надсилати сповіщення прямо на телефон. Особливо зручно це в невеликих приміщеннях, де важливо швидко дізнатись про загрозу. Але в місцях, де потрібна стовідсоткова надійність і незалежність від інтернету, краще звернути увагу на інші рішення. Детальні технічні характеристики наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 — Список характеристик сповіщувача TRX-SD01

Тип сповіщувача	Димовий
Напруга живлення	5 В
Мін. робоча температура	0 С
Макс. робоча температура	+50 С
Гучність звукового сигналу	85.0 дБ на відстані 1м
Захищувана площа	20 м ²
Елемент живлення	не з'ємний, літійовий

Найбільш близьким до розроблюваного пристрою є димовий пожежний сповіщувач Ajax FireProtect (рис. 1.11). Це бездротовий пристрій, що поєднує функції виявлення диму та раптового підвищення температури, завдяки чому забезпечується ефективне реагування на пожежу ще на ранніх етапах. Пристрій працює в складі охоронної системи Ajax, передаючи сигнал на центральний хаб через радіопротокол Jeweller з дальністю до 1300 метрів у відкритому просторі. Основою живлення є батарейки типу CR2 та CR2032, які забезпечують до чотирьох років автономної роботи. У разі спрацювання вмикається вбудована звукова сирена гучністю 85 дБ, а також надсилається повідомлення на мобільний додаток Ajax, що дозволяє оперативно отримати інформацію про загрозу.

Конструкція пристрою дозволяє швидко монтувати його за допомогою кріплення SmartBracket, а корпус виготовлений із міцного пластику, що

витримує механічні навантаження. Робочий температурний діапазон сповіщувача становить від -10°C до $+65^{\circ}\text{C}$, що дозволяє встановлювати його як у житлових приміщеннях, так і в умовах підвищеної температурної нестабільності.



Рисунок 1.4 — Сповіщувач Ajax FireProtect

Додатковою перевагою є підтримка дистанційного тестування та самодіагностики, що значно полегшує обслуговування пристрою. Також він відповідає вимогам європейських стандартів пожежної безпеки.

Однак, незважаючи на свої переваги, Ajax FireProtect має і певні недоліки. Для повноцінної роботи йому необхідна наявність центрального хаба Ajax, без якого функціональність пристрою є обмеженою. Важливим обмеженням є й відсутність власного GSM-модуля, через що пристрій не може самостійно надсилати сповіщення поза межами системи. Крім того, висока вартість у порівнянні з традиційними автономними сповіщувачами може бути стримуючим чинником для використання цього рішення у малобюджетних проєктах. Також варто враховувати необхідність періодичного контролю рівня заряду батарей, що впливає на загальну надійність системи.

У підсумку, Ajax FireProtect є сучасним, функціональним та надійним пристроєм, який ідеально підходить для використання у складі комплексної системи безпеки. Його застосування доцільне у випадках, коли передбачається

централізоване управління і можливість віддаленого контролю. Водночас він менш придатний для автономного використання через свою залежність від інфраструктури Ajax. Характеристики наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 — Список характеристик сповіщувача Ajax FireProtect

Тип сповіщувача	Комбінований
Напруга живлення	3 В
Мін. робоча температура	-10 С
Макс. робоча температура	+65 С
Гучність звукового сигналу	85.0 дБ на відстані 1м
Захищувана площа	50 м2
Елемент живлення	2 x CR2

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ПОЖЕЖНОГО СПОВІЩЕННЯ

2.1 Класифікація пожежних сповіщувачів

Датчики пожежної сигналізації або, як їх ще називають, пожежні сповіщувачі — це пристрої, за допомогою яких ви зможете вмиль зафіксувати ознаки займання на певному об'єкті та швидко їх попередити. Такий прилад вважається одним із основних у протипожежній системі безпеки.

Класифікація автоматичних пожежежних сповіщувачів наведена на рисунку 1.5



Рисунок 1.5 — Класифікація пожежних сповіщувачів

За видом контрольованої зони — ця класифікація описує просторову область, яку сповіщувач може контролювати. Іншими словами — яка геометрія або форма зони виявлення пожежонебезпечних чинників:

- точкові;
- лінійні;
- об'ємні;
- багатоточкові.

Точкові пожежні сповіщувачі здійснюють контроль за наявністю ознак загоряння в межах визначеної площі. Найвищий рівень чутливості досягається безпосередньо в місці встановлення пристрою, тоді як мінімально допустима чутливість спостерігається на периферії контрольованої зони, яка має форму кола з центром у точці розміщення сповіщувача (рис. 1.6).

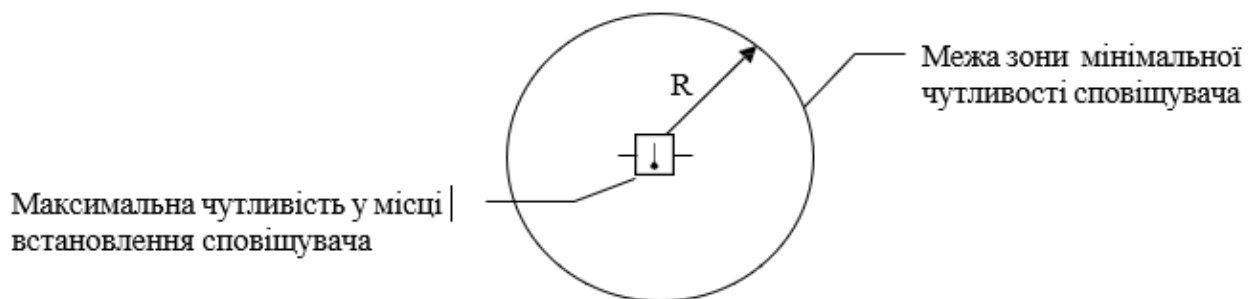


Рисунок 1.6 — Точковий сповіщувач

Лінійні пожежні сповіщувачі здійснюють моніторинг ознак загоряння вздовж витягнутої контрольної зони. Найвища чутливість таких пристроїв спостерігається по осі, що проходить через центр цієї смуги, тоді як на її межах забезпечується мінімально припустимий рівень реагування (рис. 1.7).

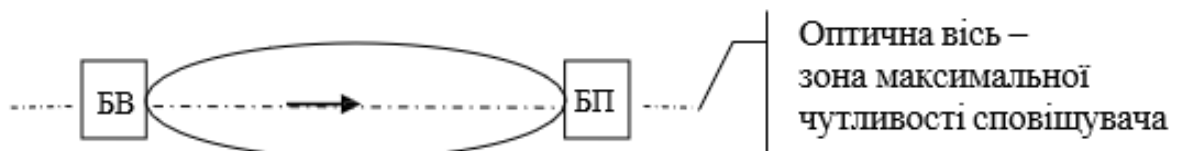


Рисунок 1.7 — Лінійний сповіщувач

Об'ємні — контролюють певний об'єм, при цьому їх чутливість практично не залежить від місця появи ознак пожежі, що контролюються в об'ємі, який захищається.

Багатоточковий сповіщувач — це тип пристрою, який має кілька сенсорних елементів (точок виявлення), розташованих в одному корпусі або підключених до одного спільного блоку управління. Іншими словами, один пристрій може контролювати кілька окремих точок простору одночасно.

За видом вихідного сигналу — цей критерій класифікації визначає, який саме електричний сигнал передає сповіщувач на приймально-контрольний пожежний прилад (ППКП) при спрацюванні. Від типу сигналу залежить точність діагностики, обробка інформації та можливість локалізації джерела загрози. Вони бувають двох видів дискретні та аналогові.

Дискретні — ці пристрої видають двостанний сигнал — або “норма”, або “тривога”. Це фактично перемикання між двома станами: контакт розімкнутий або замкнутий, сигнал подається або ні.

Аналогові — передають безперервний (аналоговий) сигнал, що відображає ступінь зміни контрольованого параметра (наприклад, рівень диму, температура, концентрація газу). Тобто не просто “є/немає”, а наскільки сильно змінився параметр [2].

За видом опиту приймально-контрольними приладами — Цей критерій класифікації визначає, як саме сповіщувач “взаємодіє” з приймально-контрольним приладом — тобто, як прилад дізнається, що саме цей сповіщувач подав сигнал тривоги. Він буває двох видів — адресні та неадресні.

Адресовані — сповіщувачі, в яких передбачена можливість установки для кожного з них індивідуального коду (адреси), що передається на ППКП та дозволяє судити про стан середовища в приміщенні та власну працездатність сповіщувача

Неадресовані — сповіщувачі, за інформацією від яких в системі неможливо судити, від якого конкретно сповіщувача вона надійшла (неможлива ідентифікація місця виникнення пожежі).

За дією в контрольованому середовищі — Цей розділ визначає, чи використовує сповіщувач власне випромінювання (активний), чи реєструє

зміну навколишнього середовища без додаткового впливу (пасивний). Їх можна розділити на активні та пасивні.

Активні сповіщувачі — на виході сповіщувачів з'являється сигнал у вигляді зміни величини струму або напруги, що генерується сповіщувачем.

Пасивні сповіщувачі — при спрацюванні таких сповіщувачів на їх виході з'являється сигнал у вигляді розмикання або замикання електричних контактів, включеного в шлейф сигналізації [3].

За принципом реагування — ця класифікація описує коли саме спрацюватиме сповіщувач. Його можна розділити на максимальні, диференціальні та максимально диференціальні.

Максимальні — такі, що спрацювують при досягненні та перевищенні параметром, що контролюється, певного (порогового) значення (рис 1.8).

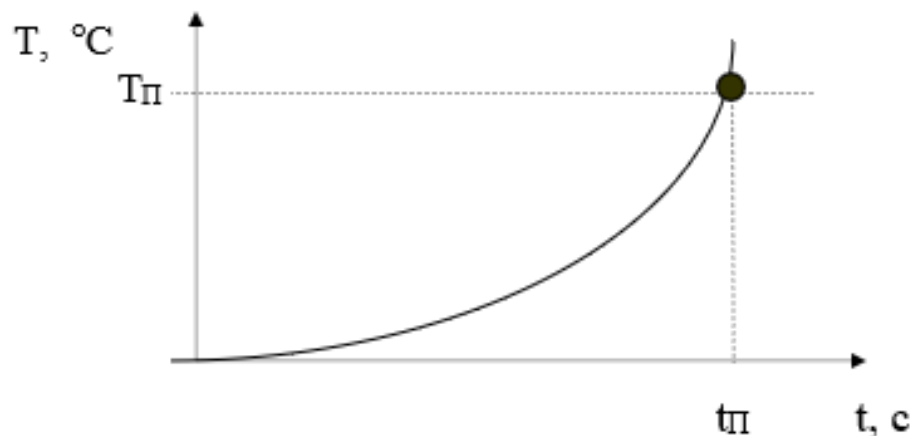


Рисунок 1.8 — Максимальний принцип реагування

Диференціальні — реагують на швидкість зміни параметра, що контролюється; спрацювують при досягненні та перевищенні певного (порогового) значення швидкості зміни параметра, що контролюється (наприклад, швидкість зміни температури).

Максимально-диференціальні — реагують як на досягнення контрольованим параметром певного значення, так і на швидкість зміни параметра, що контролюється (температури).

За видом — ця класифікація вказує на основну фізичну ознаку пожежі,

яку реєструє сповіщувач. Іншими словами, на що саме він реагує. До них відносяться: теплові, димові, полум'яні, комбіновані та газові.

Теплові — всі теплові сповіщувачі спрацьовують при перевищенні певного максимального значення температури, або певного значення швидкості зростання температури середовища, що контролюється. Теплові пожежні сповіщувачі реагують на теплову енергію, що звільняється під час пожежі. Вимірювання температури повітря здійснюється, як правило, за допомогою напівпровідникових термочутливих елементів. У випадку, якщо температура підіймається вище за встановлене діючим стандартом значення (поріг спрацьовування), сповіщувач видає сигнал пожежі [4].

Загальна схема теплового сповіщувача наведена на рисунку 1.9.

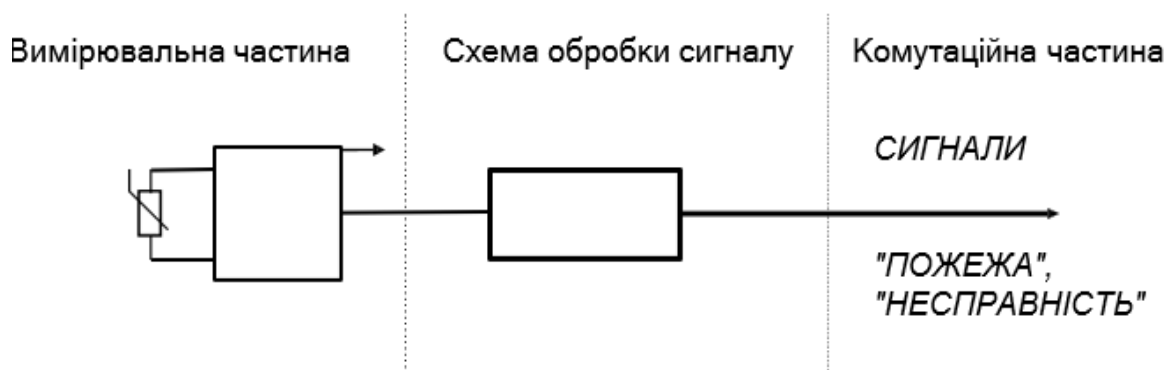


Рисунок 1.9 — Загальна схема теплового сповіщувача

Теплові пожежні сповіщувачі встановлюють в тих випадках, коли умови навколишнього середовища і наявність помилкових ознак виключають застосування димових пожежних сповіщувачів і сповіщувачів полум'я. За вимогами нормативних документів не встановлюють в приміщеннях з високими стелями.

У початковій стадії розвитку пожежі має місце процес повільного горіння з виділенням великої кількості диму. При розвитку пожежі у закритих приміщеннях з нестачею кисню процес горіння деяких речовин може тривати декілька годин, заповнюючи приміщення димом задовго до помітного підвищення температури та виникнення полум'я — саме для таких моментів

потрібно використовувати димові сповіщувачі.

Дим є продуктом неповного згоряння, це сукупність твердих та рідких частинок, які знаходяться в дисперсному стані газоповітряного середовища. Дими відрізняються від пилу, туманів формою, розмірами частинок, хімічним складом, станом [2].

Утворення диму є динамічним процесом. Частинки диму на початку горіння мають невеликий розмір. З часом, під впливом руху, частинки зіштовхуючись з'єднуються, що призводить до збільшення середнього розміру частинки. Видимий дим — це частинки розміром в діаметрі від 0,4 мкм і більше.

Характеризують дим такі показники, як:

- концентрація;
- оптична щільність.

Існує два принципи виявлення диму це — фотоелектричний або оптико електронний (оптичний) та іонізаційний (радіоізотопний).

Залежність чутливості димового сповіщувача від розміру частинок диму показано на рисунку 1.10.

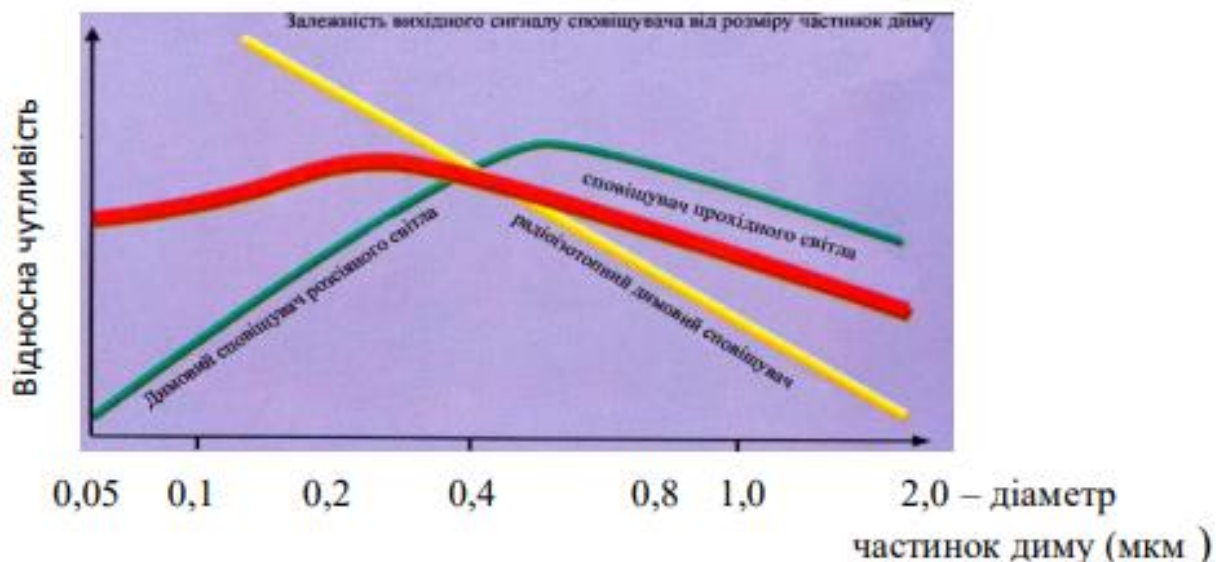


Рисунок 1.10 — Залежність чутливості димового сповіщувача від розміру частинок диму

Димові пожежні сповіщувачі, що застосовуються для виявлення диму використовують два методи: оптично-електронний і радіоізотопний.

Однією з переваг радіоізотопних димових пожежних сповіщувачів є їх здатність виявляти димові частки розміром від 0,1 до 1,0 мкм, тоді як оптично-електронні сповіщувачі реагують на частки розміром від 0,5 до 10 мкм.

Завдяки цьому радіоізотопні сповіщувачі мають ширший спектр застосування від фіксації тліючих процесів піролізу до пожеж з відкритим полум'ям [5].

Оптично-електронний метод є основою роботи переважної більшості існуючих моделей димових пожежних систем. Метод полягає в аналізі стану середовища в місці встановлення ПС шляхом зондування локального об'єму робочої камери ПС за допомогою оптичного променя. В алгоритм роботи ПС закладається один з двох критеріїв "прийняття рішення" про пожежу в приміщенні, що захищається:

- світловий потік, що пройшов через контрольну ділянку менше допустимої величини;
- світловий потік на контрольній ділянці перевищує допустиму величину.

При побудові сповіщувачів, що реалізують перший алгоритм, вимірюванню підлягає світловий потік, що пройшов через ділянку, яка контролюється, а при реалізації другого алгоритму - величина розсіяного потоку [5].

Структурна схема оптично-електронного сповіщувача наведена на рисунку 1.11.

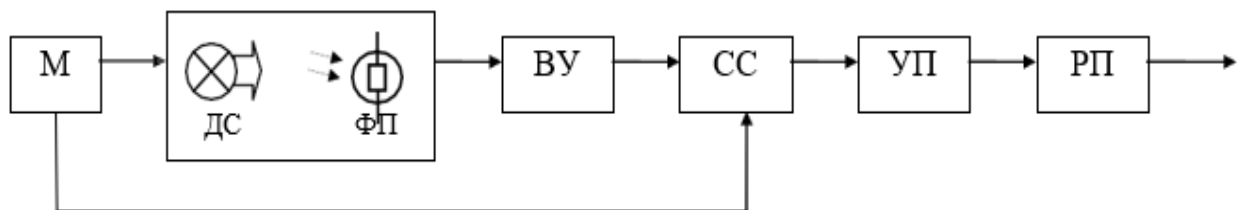


Рисунок 1.11 — Структурна схема оптично-електронного сповіщувача:

На рисунку М — модулятор; ДС — джерело зондуючого світлового променя; ФП — фотоприймач; ВУ — виборчий підсилювач; СЗ — схема збігу; УП — підсилювач потужності; РП — релейний пристрій

Пожежний сповіщувач полум'я — автоматичний пожежний сповіщувач, який реагує на електромагнітне випромінювання полум'я. Відомо, що нагріті тіла випромінюють світлові хвилі не тільки у діапазоні, який ми бачимо, але ще й в ультрафіолетовому та інфрачервоному діапазоні. Довжина хвилі випромінювання, що виникає при пожежі, включає в себе весь спектр від короткохвильового ультрафіолетового до довгохвильового інфрачервоного, включаючи видимий діапазон [6].

Найбільш поширені типи пожежних сповіщувачів полум'я технічно реалізовані таким чином, що вони реагують на ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання від полум'я, що виникає при пожежі. ПС полум'я спрацьовують при виявленні вихідного від пожежі випромінювання. Сповіщувачі полум'я, що застосовуються на об'єктах України, чутливі до інфрачервоного (ІЧ) або ультрафіолетового (УФ) випромінювання, яке виникає при пожежі.

Сповіщувачі, які спрацьовують при виникненні випромінювання у видимому спектрі (від 0,35 до 0,8 мкм), застосовуються дуже рідко [2].

Завдяки особливостям фізичних процесів, на яких ґрунтується робота сповіщувачів полум'я, вони здатні набагато оперативніше реагувати на пожежу, що супроводжуються миттєвим утворенням відкритого вогню, як при загорянні легкозаймистих рідин або газів. При цьому відстань до джерела загорання в межах приміщення практично не впливає на швидкість його виявлення [7].

З іншої сторони такі сповіщувачі малоефективні при виявленні тліючих загорянь, оскільки щільний дим значно погіршує проходження світлового випромінювання від осередку займання через його поглинання та розсіювання частинками диму.

Сповіслювачі полум'я можна поділити на два види — інфрачервоні та ультрафіолетові в залежності від того на яку саме часту випромінювання полум'я вони реагують [8].

УФ-сповіслювачі полум'я працюють за принципом виявлення ультрафіолетового випромінювання, що утворюється полум'ям. Оскільки ультрафіолетове випромінювання з цього діапазону практично повністю [9] поглинається атмосферою до досягнення земної поверхні, такі сповіслювачі не реагують на звичайне природне освітлення, що виключає помилкові спрацювання під дією денного світла [10]. Структурна схема ультрафіолетового сповіслювача полум'я зображена на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 — Структурна схема ультрафіолетового оповіслювача

До недоліків можна віднести те, що густий дим, пил або водяна пара на території, що контролюється сповіслювачем можуть перешкоджати проходженню УФ-випромінювання. Більш того забруднення поверхні сповіслювача (сажа, бруд, жир і т.інш.) перешкоджає попаданню УФ-випромінювання на сповіслювач та зменшує його чутливість [11].

Принцип роботи ІЧ-сповіслювача полум'я ґрунтується на здатності виявляти інфрачервоне випромінювання, яке є типовим для відкритого вогню. Це випромінювання проходить через спеціальний оптичний фільтр і

перетворюється оптоелектронним сенсором на електричний сигнал [12].

Оскільки в цьому спектральному діапазоні можуть діяти й інші джерела, такі як сонячне світло чи нагрівальні прилади. Сповіщувач додатково аналізує частоту мерехтіння полум'я. За допомогою активного фільтра виділяється характерна частота коливань, а спеціальний лічильник визначає частоту імпульсів за певний проміжок часу. Лише у разі збігу двох ключових параметрів — довжини хвилі та частоти мерехтіння — пристрій формує сигнал тривоги.

Структурну схему інфрачервоного сповіщувача полум'я наведено на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 — Структурна схема інфрачервоного сповіщувача полум'я

Інфрачервоні сповіщувачі можуть виявляти відкрите полум'я пожежі, як з димоутворюванням, так і без нього. Вони встановлюються в тих місцях, де зберігаються або переробляються матеріали, що легко запалюються. До мінусів іч-сповіщувачів можна віднести те, що у зоні їх роботи забороняється розташовувати пристрої розжарювання [13].

Газові пожежні сповіщувачі застосовуються в тих випадках, коли на початковій стадії пожежі у контрольованій зоні ймовірно виділення певних газоподібних речовин у концентраціях, достатніх для їх виявлення. Завдяки цьому вони забезпечують раннє виявлення пожежі, ще до появи відкритого полум'я чи значного підвищення температури [14].

Газові пожежні сповіщувачі не слід застосовувати у приміщеннях, в

яких за відсутності пожежі можуть з'являтися гази в концентраціях, що викликають спрацьовування сповіщувачів. Зазвичай їх основними сферами застосування є складські приміщення. Тому монтаж пожежної сигналізації обов'язково передбачає установку газових сповіщувачів, які якісно працюють при сильних повітряних потоках, при сильній запиленості приміщення, не дають збоїв при високому рівні електромагнітних завад і при високій освітленості [15].

Газові пожежні детектори здатні виявляти продукти піролізу електроізоляційних матеріалів, радіотехнічних компонентів і кабельних трас. Завдяки таким характеристикам, ці пристрої ефективно застосовуються в таких галузях:

- під час виробничих процесах обробки виробів з дерева;
- для забезпечення пожежної безпеки при виробництві синтетичних смол, полімерів, целюлозно-паперових виробів, текстилю та тютюну;
- для забезпечення протипожежного захисту складських приміщень, в яких зберігається сировина та вироби з паперу, картону, деревини, натуральних волокон, подрібнене тверде паливо;
- для протипожежного захисту елеваторів і борошномельних комбінатів.

Комбіновані пожежні сповіщувачі вітчизняного виробництва зазвичай є універсальними пристроями, які поєднують кілька методів виявлення загоряння. В основі їх роботи лежить оптико-електронна сенсорна система, що реагує на димові частинки, а також диференційно-максимальний принцип реєстрації підвищення температури. Такий підхід забезпечує високу достовірність і швидкість реагування на різні фактори пожежі.

Мультисенсорний (комбінований) пожежний сповіщувач — це пристрій, який об'єднує декілька сенсорних елементів в одному корпусі та здатний реагувати на кілька фізичних явищ, пов'язаних із загорянням — наприклад, дим і тепло, дим і газоподібні продукти згоряння, або ж тепло і гази [16].

Перевага комбінованих сповіщувачів полягає в тому, що вони поєднують сильні сторони одноканальних датчиків (димових, теплових, газових тощо), часто усуваючи або мінімізуючи їхні недоліки. Завдяки інтеграції в одному корпусі різноманітних сенсорів — температурних, димових, газових та світлочутливих — такі пристрої здатні реагувати на збільшення концентрації чадного газу в повітрі, появу відкритого полум'я або спалахів. Це забезпечує високу ефективність виявлення практично будь-яких джерел загоряння.

2.2 Рекомендації щодо вибору та розміщення пожежних сповіщувачів

Правильний вибір типу пожежного сповіщувача та його раціональне розміщення у приміщенні є одним із ключових чинників ефективного функціонування системи пожежної сигналізації. Від своєчасного виявлення ознак загоряння залежить не лише збереження майна, а й безпека людей, які перебувають у будівлі. Тому при проєктуванні системи необхідно враховувати не лише загальні норми, а й особливості кожного конкретного об'єкта.

Перш за все, слід враховувати фізичні характеристики приміщення: його площу, висоту стель, наявність міжстельового простору або підлогових каналів. Наприклад, у великих за об'ємом приміщеннях з високими стелями краще застосовувати адресні димові сповіщувачі з підвищеною чутливістю або теплові пристрої, розраховані на віддалене встановлення. Натомість у невеликих офісах або квартирах цілком ефективно працюють точкові автономні димові сповіщувачі.

Не менш важливим є врахування умов експлуатації приміщення. У зонах із високим рівнем запиленості або підвищеною вологістю димові сповіщувачі можуть часто помилково спрацьовувати. У таких випадках рекомендується використовувати теплові або комбіновані моделі, здатні ігнорувати хибні фактори, але реагувати на реальні ознаки займання.

Тип потенційного джерела займання також впливає на вибір пристрою. Наприклад, якщо найбільш імовірним є загоряння електропроводки без

активного полум'я, доцільно встановлювати димові сповіщувачі. Якщо ж у приміщенні є ризик миттєвого виникнення відкритого вогню — доцільним буде застосування інфрачервоних сповіщувачів полум'я.

Особливу увагу слід приділяти чутливості сповіщувача, яка визначає його здатність забезпечити раннє виявлення пожежі. Занадто чутливі пристрої можуть викликати часті хибні тривоги, що призводить до зниження довіри до системи в цілому. Недостатньо чутливі — не виявлять небезпеку вчасно. Тому при налаштуванні системи необхідно дотримуватись рекомендованих стандартів і враховувати конкретні умови експлуатації.

Щодо розміщення сповіщувачів, то варто дотримуватись низки базових принципів. Як правило, точкові димові або теплові сповіщувачі монтуються на стелі або у верхній частині стін, оскільки саме там найшвидше накопичуються гарячі гази та дим. Важливо уникати встановлення поблизу джерел сильної вентиляції — отворів, дверей, вікон, кондиціонерів, оскільки потоки повітря можуть змінити напрямок руху диму або теплого повітря, що спотворює сигнал. Також слід враховувати мінімально допустимі відстані між сповіщувачами — вони залежать від типу пристрою, висоти монтажу та нормативних вимог.

У виробничих приміщеннях із постійною наявністю диму, пари чи пилу доцільно застосовувати сповіщувачі, які мають фільтри або алгоритми компенсації хибних спрацьовувань. У таких випадках часто використовують теплові або комбіновані моделі, здатні коригувати сигнали в залежності від зміни умов навколишнього середовища.

Отже, вибір і розміщення пожежних сповіщувачів повинні здійснюватися на основі комплексного аналізу приміщення, прогнозування ймовірних загроз та дотримання чинних норм безпеки. Такий підхід дозволяє не лише забезпечити оперативне реагування на пожежу, але й зменшити ризик хибних тривог, що є особливо важливим для автоматизованих систем оповіщення й евакуації.

3 ПРОЕКТУВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ЗАСОБУ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

Для створення цього проекту використовується датчик диму MQ-2, датчик полум'я та датчик температури dht 11. Для сповіщення про небезпеку використовується бузер. Основою пристрою плата а ESP32 DevKit V1 яка об'єднує всі деталі в одне ціле та виконує загальні обчислення та контроль над системою у цілому. Для програмування використовується код ARDUINO який базується на мовах C/C++.

3.1 Розробка структурної схеми пожежної сигналізації

Створення структурної схеми є важливим етапом у розробці пожежного приладу, адже саме вона дає змогу зрозуміти, як працює пристрій загалом. Завдяки схемі можна побачити логіку взаємодії окремих компонентів, простежити шлях сигналу від сенсорів до мікроконтролера, а також оцінити, як саме відбувається обробка інформації та які дії виконує прилад у разі виявлення загрози. Такий підхід дозволяє заздалегідь виявити й усунути потенційні недоліки на етапі проєктування, що критично важливо для пристроїв, які мають реагувати миттєво. Структурна схема наведена у додатку В.1

У складі приладу передбачено використання трьох основних сенсорів: температурного датчика DHT11, газового сенсора MQ-2 та інфрачервоного датчика полум'я. Кожен із них виконує окрему функцію — вимірювання температури, виявлення диму або горючих парів та фіксація відкритого вогню відповідно. Всі сенсори передають дані на мікроконтролер ESP32, який виступає як центральна обчислювальна одиниця приладу. Він аналізує отриману інформацію та приймає рішення про подальші дії.

Якщо хоча б один із датчиків фіксує критичне значення, ESP32 одразу активує звукове сповіщення за допомогою бузера. Це дозволяє швидко привернути увагу до потенційної небезпеки. Але функціональність приладу не

обмежується лише локальним оповіщенням. Завдяки підтримці Wi-Fi, він може надсилати сповіщення користувачеві через Telegram-бота, що значно підвищує зручність використання приладу в реальних умовах.

Окрім автоматичного реагування, користувач має змогу взаємодіяти з приладом дистанційно. Наприклад, можна перевірити поточну температуру в приміщенні або вимкнути звуковий сигнал після усунення небезпеки. Це надає гнучкість і дозволяє контролювати стан приладу навіть на відстані.

Конструкція приладу є модульною, тобто його можна легко вдосконалити або замінити окремі компоненти без необхідності повної перебудови. Мікроконтролер ESP32 забезпечує широкі можливості для інтеграції додаткових елементів, а також дозволяє приладу працювати автономно, без постійного підключення до комп'ютера. Це відкриває широкі можливості використання в різних умовах — у побуті, офісах, на складах тощо.

Таким чином, структурна схема дає змогу чітко уявити роботу пожежного приладу. Від фіксації небезпечних факторів сенсорами до оповіщення користувача як локально, так і через мережу. Завдяки поєднанню простоти конструкції, швидкої реакції та можливості дистанційного контролю, прилад є ефективним рішенням для своєчасного виявлення пожежонебезпечних ситуацій.

3.2 Вибір елементної бази

Першим етапом створення проекту слугує вибір мікроконтролеру, адже він по суті являється мозком нашої системи та слугує основною складовою. Сам мікроконтролер по суті це мікрокомп'ютер, що містить більшість периферійних пристроїв і потрібна пам'ять всередині однієї інтегральної схеми разом із центральним процесором. Це насправді «мікрокомп'ютер на мікросхемі. Мікроконтролер можна вважати автономною системою, що включає процесор, модулі пам'яті та периферія.

Вибір пав на плату ESP32 DevKit (рис. 2.1) через зручність її

налаштування та наявність вбудованих Wi-Fi модулів які потрібні для реалізації оповіщення у телеграм бота.



Рисунок 2.1 — ESP32 DevKit V1

ESP32 DevKit V1 — це універсальна розробницька плата на базі мікроконтролера ESP32, який поєднує в собі функції Wi-Fi та Bluetooth. Завдяки широким можливостям і продуктивності, плата підходить для реалізації проєктів у сфері Інтернету речей (IoT), бездротових сенсорних систем, автоматизації та інших задач, де необхідна інтеграція мікроконтролера з мережею.

ESP32 DevKit V1 постачається на платі з роз'ємом microUSB або USB Type-C та вбудованим конвертером USB-UART CH340C, що значно спрощує процес підключення до комп'ютера та завантаження прошивки без додаткових пристроїв. Для цього приладу була вибрана плата з роз'ємом TYPE C через його вищу швидкість передачі даних. Живлення плати ESP32 DevKit V1 здійснюється через роз'єм USB Type-C, що забезпечує більш сучасне та зручне підключення. Після під'єднання до комп'ютера через USB Type-C кабель, на платі автоматично подається напруга 5 В, яка внутрішньо перетворюється стабілізатором на 3.3 В — робочу напругу для мікроконтролера ESP32. Одразу після підключення загоряється індикатор живлення, що сигналізує про готовність до роботи [12].

Плата оснащена великою кількістю GPIO-пінів (до 34 доступних), які можуть виконувати функції цифрових входів/виходів, аналогових входів,

інтерфейсів UART, SPI, I2C, PWM, DAC тощо. Розпіновка плати наведена на рисунку 2.2.

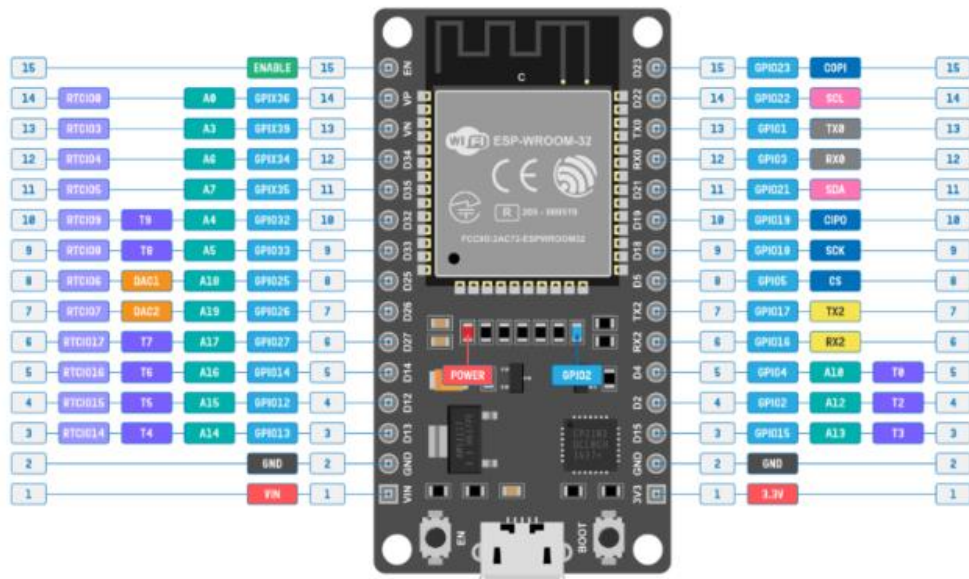


Рисунок 2.2 — Розпіновка ESP32 DevKit V1

Плата підтримує програмування через середовища Arduino IDE, ESP-IDF, PlatformIO та інші. Код можна писати мовами C/C++, Python (через MicroPython) тощо. У разі використання Arduino IDE достатньо встановити відповідну плату через менеджер плат, після чого можна писати скетчі та завантажувати їх на ESP32. Деякі середовища вимагають натискання кнопки BOOT для переведення плати в режим прошивки.

Живлення:

- GND — земля, на платі присутні 2 піна;
- VIN — вхід для зовнішнього живлення 5V, якщо плата живиться не через USB, сюди можна подавати напругу 5V, напруга подається на вхід стабілізатора, який знижує її до 3.3V для живлення мікроконтролера;
- 3.3V — стабілізований вихід напруги 3.3, живиться від вбудованого стабілізатора на платі, може використовуватися для підключення зовнішніх датчиків або модулів, але струм не повинен перевищувати від 300 до 500 мА;
- внутрішній контакт, на який подається 5V безпосередньо з USB Type-

С порту. Ця напруга використовується для живлення плати через стабілізатор.

Система пінів:

- EN — подача високого рівня (3.3V) активує мікроконтролер, якщо сигнал низький, то ESP32 переходить у режим сну або вимикається;

- RST — перезавантажує мікроконтролер при подачі низького сигналу.

GPIO — порти введення/виведення(input/output):

- GPIO0, GPIO2, GPIO4, GPIO5, GPIO12—GPIO15, GPIO18—GPIO23, GPIO25—GPIO27, GPIO32—GPIO33 — загальнодоступні пінів, які можна вільно використовувати;

- GPIO34 — GPIO39 — тільки вхідні (input only), не підтримують вихід (output);

- GPIO25, GPIO26 — мають вбудовані ЦАПи (DAC);

- GPIO32 — GPIO39 — можуть бути використані як аналогові входи (ADC);

- GPIO4, GPIO13, GPIO14, GPIO15, GPIO27, GPIO33, GPIO32 — також підтримують сенсорне керування (touch).

Комунікаційні інтерфейси:

- GPIO1 (TX0), GPIO3 (RX0) — основний UART для програмування/відлагодження;

- GPIO9 (RX1), GPIO10 (TX1) — другий UART;

- GPIO16, GPIO17 — можна використати для третього UART (UART2);

- GPIO23 (MOSI) — «головний передає, підлеглий отримує» (Master Out Slave In) — це лінія, по якій контролер (ESP32) передає дані до периферійного пристрою (датчика, модуля тощо);

- GPIO19 (MISO) — «головний отримує, підлеглий передає» (Master In Slave Out) — це лінія, по якій периферійний пристрій передає дані назад до ESP32;

- GPIO18 (SCK) — серійний тактовий сигнал (Serial Clock) — цей контакт подає імпульси синхронізації, які визначають темп передачі даних між

пристроями;

— GPIO5 (CS) — вибір пристрою (Chip Select) — сигнал, який активує певний підключений SPI-пристрій (наприклад, датчик), дозволяючи ESP32 працювати саме з ним;

— GPIO21 (SDA) — лінія даних;

— GPIO22 (SCL) — лінія синхронізації.

Сама плата ESP32 DevKit побудована на базі мікроконтролера ESP-WROOM-32. Таблиця усіх характеристик плати ESP32 DevKit наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Таблиця характеристик ESP32 DevKit

Модель	ESP32 DevKit
Чіп	ESP-WROOM-32
Flash пам'ять	4 Мбайт
Тактова частота	до 240 МГц
Оперативна пам'ять (RAM)	520 КБ
Кількість портів	36
Робоча напруга	3.3 В
Вхідна напруга	5 В
Споживаний струм	до 500 мА при використанні Wi-Fi, до мА в режимі Deep Sleep
Відстань передачі/прийому	до 300 м (залежить від умов)
Функція	OTA
Розміри	(54 x 28 x 13) мм
Вага	25 г

ESP-WROOM-32 є потужним вбудованим модулем на базі мікроконтролера ESP32 від компанії Espressif Systems, який поєднує в собі високу ефективність, багатофункціональність та енергоефективність. Модуль оснащений двоядерним 32-бітним процесором Tensilica Xtensa LX6 з тактовою

частотою до 240 МГц, що дозволяє виконувати складні обчислення та обробку даних у реальному часі. Завдяки підтримці бездротових інтерфейсів Wi-Fi (802.11 b/g/n) та Bluetooth (класичний та BLE), ESP-WROOM-32 ідеально підходить для використання в бездротових сенсорних мережах, системах «розумного» дому та пристроях Інтернету речей (IoT).

Модуль має до 520 КБ оперативної пам'яті SRAM, вбудовану флеш-пам'ять (звичайно 4 МБ) та великий набір периферійних інтерфейсів: SPI, I2C, UART, ADC, DAC, PWM, I2S, SDIO та інші. З понад 30 універсальними цифровими входами/виходами (GPIO), ESP-WROOM-32 дозволяє виконувати різні функції, включаючи апаратне ШІМ, аналогове зчитування та цифрові переривання. Окрім того, модуль підтримує апаратне шифрування, захист пам'яті та енергоощадні режими, зокрема deep sleep, що забезпечує низьке споживання енергії в автономних пристроях.

Для створення приладу було вирішено одним з датчиків використати датчик вогню, а саме Інфрачервоний датчик полум'я (Infrared Flame Sensor), його зображено на рисунку 3.3.

Інфрачервоний датчик полум'я (Infrared Flame Sensor) — це компактний електронний пристрій, призначений для виявлення джерел відкритого вогню шляхом фіксації характерного інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, яке зазвичай супроводжує процес горіння. Датчик працює в спектральному діапазоні від 760 нм до 1100 нм, що дозволяє йому розпізнавати полум'я різної інтенсивності та хімічного складу.

Основне призначення пристрою — ідентифікація наявності вогню в навколишньому середовищі, з максимальною ефективною дальністю до 80 см. Проте в умовах низького фону освітлення або за наявності інтенсивного джерела полум'я цей радіус може сягати кількох метрів. Завдяки широкому куту огляду, що становить приблизно 60°, датчик здатен охоплювати значну зону моніторингу, що робить його корисним для використання в системах пожежної безпеки, де важлива швидкість реагування на появу відкритого вогню.

При наявності джерела вогню модуль змінює сигнал на виході на низький рівень, що дає змогу зручно з'єднувати його з керуючими мікросхемами, зокрема Arduino або ESP-платами. Вбудований регулятор дозволяє підлаштувати чутливість пристрою відповідно до умов роботи. Також передбачено світлову індикацію, яка відображає стан активації. Живлення відбувається у межах від 3.3 до 5 вольт, а струм споживання не перевищує 20 мА.



Рисунок 3.3 — Датчик полум'я

Структурна схема датчику вогню наведено на рисунку 2.4.
Характеристики датчик полум'я наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 3.2 — Характеристики датчик полум'я

Модель	Infrared Flame Sensor
Тип сенсора	інфрачервоний
Довжина хвилі чутливості	Від 760 до 1100 нм
Кут виявлення	60 градусів
Споживаний струм	20 мА
Тип виходу	цифровий
Живлення	Від 3.3 до 5 В
Розміри	(32 x 14) мм

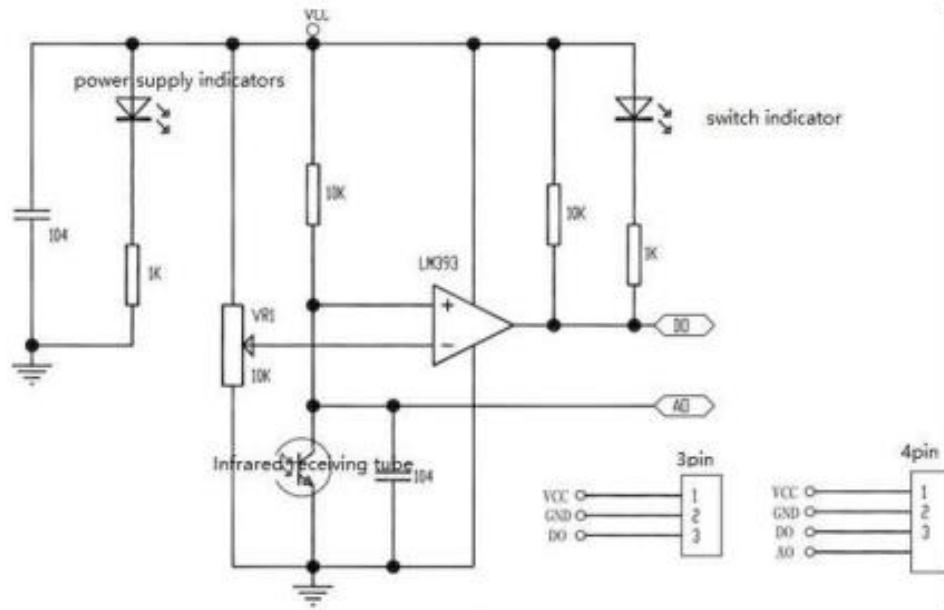


Рисунок 3.4 — Структурна схема датчику вогню

Другим датчиком було варішено використати датчик диму, для можливості визначати пожежу в початкових її стадіях. Для цього був обраний датчик диму MQ-2 (рис2.5).

Датчик диму MQ-2 — це модуль, що реагує на присутність горючих газів у повітрі. Його головною перевагою є здатність виявляти широкий спектр речовин: метан, пропан, бутан, водень, пари спиртів, а також дим, що виникає під час згоряння, що відіграє найголовнішу роль для цього проекту. Завдяки чутливому напівпровідниковому елементу, розташованому всередині металевого кожуха з сіткою, пристрій забезпечує досить швидку реакцію на зміни газового фону. Діапазон вимірювання охоплює концентрації в межах від 200 до 10000 ppm, що робить його придатним для виявлення навіть незначних витоків або початкових ознак загоряння.

Модуль має як аналоговий, так і цифровий вихід, що дозволяє налаштувати поріг спрацювання та легко підключати його до мікроконтролерів. Встановлений на платі підлаштувальний резистор дає змогу адаптувати чутливість під конкретні умови експлуатації. Працює сенсор при напрузі живлення 5 В, споживаючи близько 150—200 мА у фазі нагріву, що необхідна для стабільної роботи чутливого елементу.



Рисунок 3.5 — MQ-2

Серед сильних сторін MQ-2 можна відзначити: простоту інтеграції, низьку вартість, високу чутливість до низьких концентрацій, а також надійність у виявленні диму, що робить його корисним для створення систем раннього оповіщення про пожежу, а також домашніх сигналізаторів витоку газу.

Список характеристик датчика наведено у таблиці 3.3

Таблиця 3.3 — Характеристик MQ-2

Модель	MQ-2
Чіп	TGS
Діапазон виявлення	від 200 до 10000 ppm
Гази, що виявляються	пропан, бутан, метан, водень, спирти, дим
Споживання струму	5 В
Напруга живлення	до 200 мА
Вихідні інтерфейси	аналоговий та цифровий
Робоча температура	від -10°C до +50°C
Розміри	(32 x 22 x 18) мм
Вага	6 г

Структурну схему датчика MQ-2 наведено на рисунку 2.6.

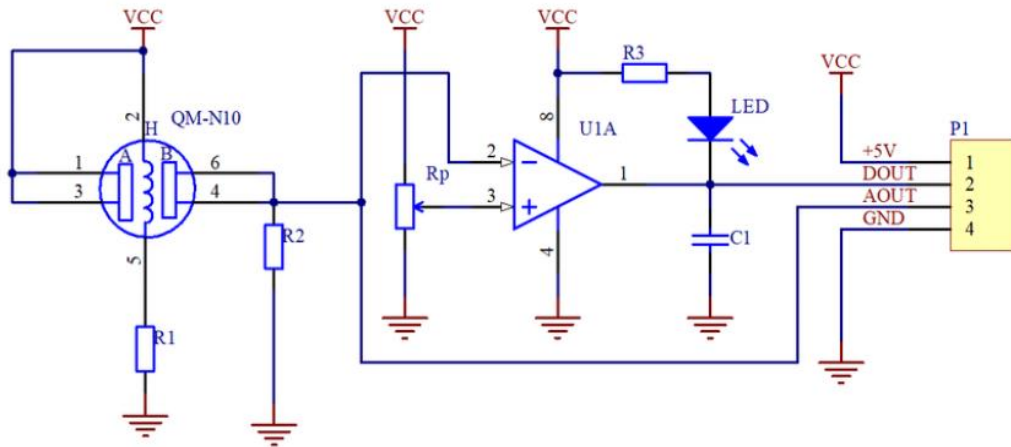


Рисунок 3.6 — Структурну схема MQ-2

Останім датчику було вирішино обрати датчик температури, а саме DHT11 (рис. 2.7).

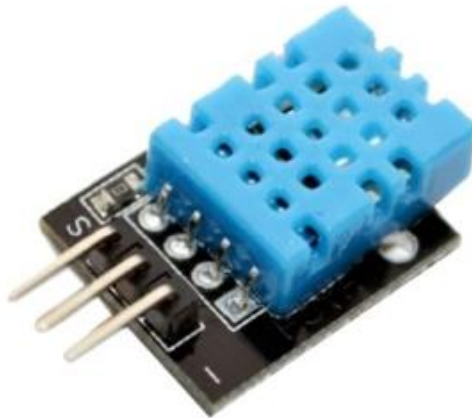


Рисунок 3.7 — DHT11

DHT11 — це цифровий сенсор, що поєднує функції вимірювання температури та вологості повітря, і завдяки простій конструкції широко використовується в системах моніторингу довкілля. Його особливістю є легке підключення до мікроконтролерів через один сигнальний пін, що передає оброблені цифрові значення. Це спрощує інтеграцію навіть у найпростіші пристрої, побудовані на базі Arduino або ESP32.

Сенсор вимірює температуру в діапазоні від 0 до 50 °C з точністю ± 2 °C

і вологість у межах від% 20 до 90% з допустимою похибкою $\pm 5\%$. Дані оновлюються приблизно раз на секунду, що достатньо для більшості застосувань. Низьке енергоспоживання робить його зручним для використання в автономних системах.

Попри те, що DHT11 не є прямим сенсором виявлення вогню або диму, він ефективно доповнює пожежні системи. Різке зростання температури чи зниження вологості може бути признаком небезпечної ситуації, наприклад займання або перегріву. У поєднанні з датчиком полум'я та датчиком диму, DHT11 дає змогу системі реагувати точніше, забезпечуючи додатковий контекст і зменшуючи ймовірність хибних спрацювань. Також за допомогою цього датчика можна вводити додаткові можливості, як вимірювання температури, які будуть досить корисні для повсякденного використання.

Серед основних переваг DHT11 — доступність, малий розмір, простота використання та наявність великої кількості бібліотек.

Характеристи датчику наведено у таблиці 2.4.

Структурна схема датчику температури DHT11 наведено на рисунку 2.8.

Таблиця 3.4 — Характеристики датчику DHT11

Модель	DHT11
Тип сенсора	цифровий
Діапазон вимірювання температури	від 0 до 50 °C
Точність вимірювання температури	± 2 °C
Діапазон вимірювання вологості	від 20% до 90% RH
Точність вимірювання вологості	$\pm 5\%$ RH
Частота оновлення даних	1 раз/сек
Живлення	від 3.3 В до 5 В
Споживаний струм	до 2.5 мА (у режимі вимірювання)
Розміри	(15.5 x 12 x 5.5) мм
Вага	1 г
Робоча температура	від 0 до 50 °C

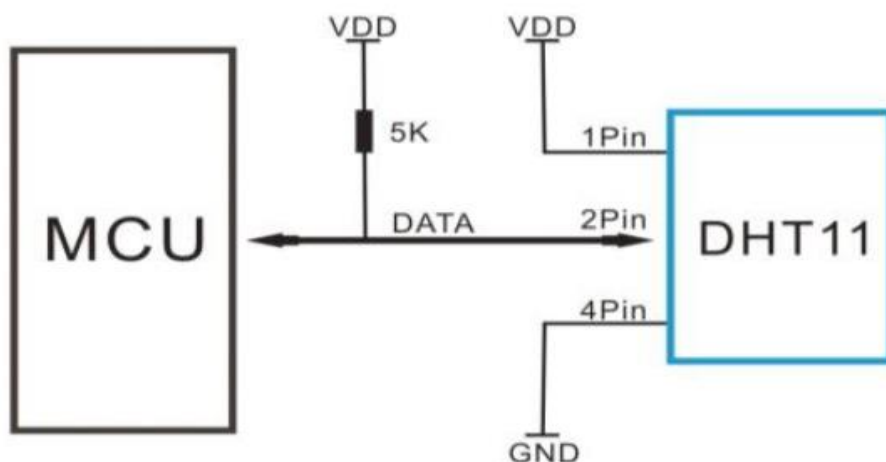


Рисунок 3.8 — Структурна схема DHT11

Бузер, або п'єзоелектричний звуковий сигналізатор, є простим і надійним компонентом, що використовується для звукового сповіщення у різноманітних електронних пристроях (рис. 2.9). Його основна функція — генерація звуку заданої частоти при подачі живлення, завдяки чому він широко застосовується у системах сигналізації, зокрема пожежних.



Рисунок 3.9 — П'єзобузер

Цей компонент генерує гучний писк, який легко помітити навіть у шумному середовищі, що робить його ідеальним для використання в аварійних чи попереджувальних системах. У пожежних пристроях бузер виконує роль негайного звукового оповіщення при виявленні диму, полум'я або критичного підвищення температури. Його реакція миттєва: при надходженні сигналу з мікроконтролера, він активується і видає звук, зазвичай у межах від 2 до 4 кГц.

П'єзобузери можуть бути активними (з вбудованим генератором звуку) або пасивними (яким потрібен сигнал змінної частоти). Найчастіше у мікропроцесорних системах використовують активні модулі, оскільки вони потребують лише подачі живлення для роботи.

Таблиця характеристик п'єзобузера наведена у таблиці 2.5.

Таблиця 3.5— Характеристики п'єзобузера

Модель	п'єзоелектричний бузер (активний)
Тип	звуковий сигналізатор
Діапазон робочої напруги	від 3.3 до 5 В
Частота звучання	від 2 до 4 кГц
Рівень гучності	85 дБ
Живлення	5 В
Розміри	(12 x 9) мм

3.3 Розробка функціональної схеми

На основі попередньої інформації про модулі які будуть використовуватись в даній системі можна виконати підключення елементів до Arduino.

На основі попередньої інформації про модулі, які будуть використовуватись у даній системі, можна виконати підключення елементів до Arduino. Це забезпечить правильну взаємодію між датчиками, мікроконтролером та іншими компонентами системи.

Всі елементи підключаються до Arduino за допомогою її вхідних/вихідних портів, з використанням відповідних інтерфейсів та налаштувань. Функціональну схему зображено у додатку В.2.

Для зрчності підключення використовується макетна плата (рис. 2.10).

Макетна плата є важливим інструментом у розробці електронних приладів. Це універсальна друкована плата, яка використовується для швидкого моделювання та випробування електронних схем без необхідності

паяння. На макетній платі є отвори, в які можна вставляти кінчики компонентів та дроти, щоб створити тимчасові з'єднання

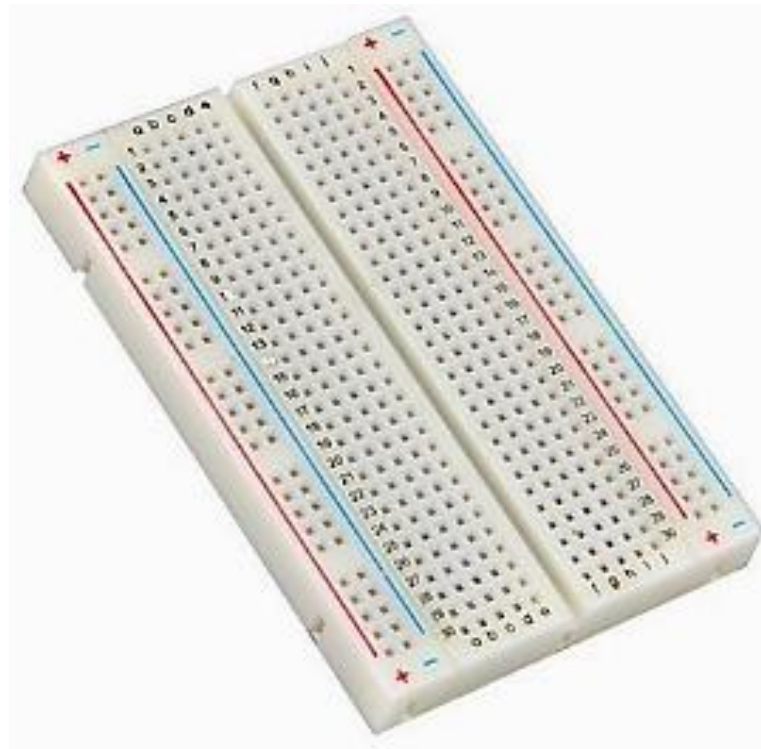


Рисунок 3.10 — Макетна плата

Основною перевагою макетної плати є можливість зручного підключення елементів, без необхідності в їх спаюванні, що значно спрощує процес розробки та тестування. Вона дозволяє швидко змінювати схеми, замінювати компоненти і перевіряти їх взаємодію, що значно пришвидшує роботу над проектом. Це також знижує вартість експериментів, оскільки не потрібно витрачати ресурси на створення нових плат або постійні зміни в пайці.

Першим датчиком підключаємо датчик вогню, який відіграє надзвичайно важливу роль у виявленні безпосереднього полум'я. Він здатний реагувати на інфрачервоне випромінювання, характерне для вогню, і швидко фіксувати загрозу займання. Цей датчик підтримує підключення як через аналоговий, так і через цифровий вхід, що дозволяє гнучко використовувати його в різних проєктах. У даній роботі вибір зроблено на користь аналогового

порту, оскільки це дає змогу отримати гнучкіший контроль та точніше зчитування рівня інтенсивності випромінювання, що є критично важливим для своєчасного реагування на загрозу. Такий підхід дозволяє не лише виявити наявність полум'я, а й оцінити його силу або відстань до джерела.

Підключений датчик полум'я наведено на рисунку 3.11.

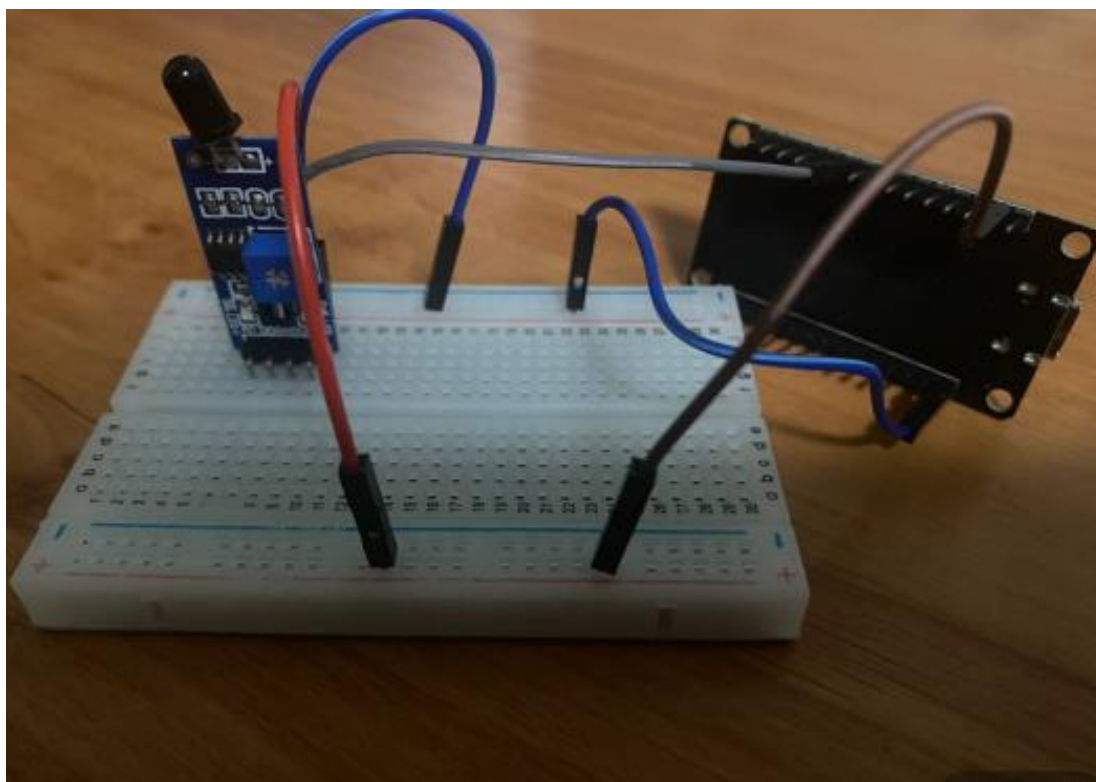


Рисунок 3.11 — Підключений датчик полум'я

Аналоговий вхід датчика полум'я A0 підключення до порту Esp32 під номером 32. Також як показано на рисунку заземлення від мікроконтролера для зручності під'єднано до входів які відповідають за заземлення тому весь ряд тепер рахується заземленням. Також само і подано живлення 3.3 V.

Підключення датчику виконано відповідно до функціональної схеми, отже можна вважати виконано вірно.

Другим, не менш важливим датчиком буде під'єднано датчик диму MQ-2. Він відіграє також дуже важливу роль для виявлення пожежі під час тління, тобто на її початкових стадіях, коли загорання ще не почалося. Як і датчик вогню цей датчик має 2 порти, як аналоговий так і цифровий, але як і з

датчиком диму було вирішено підключити його через цифровий порт.

Під'єднаний датчик диму MQ-2 наведено на рисунку 2.12.

Аналоговий вхід датчика диму MQ-2 (A0) під'єднано до порту під номером

34 на платі. Навідміно від датчика полум'я MQ-2 живиться від 5V. Тому проводимому живлення 5V від мікроконтролера у інший відповідний ряд макетної плати. Заземлення під'єднуємо відповідно.

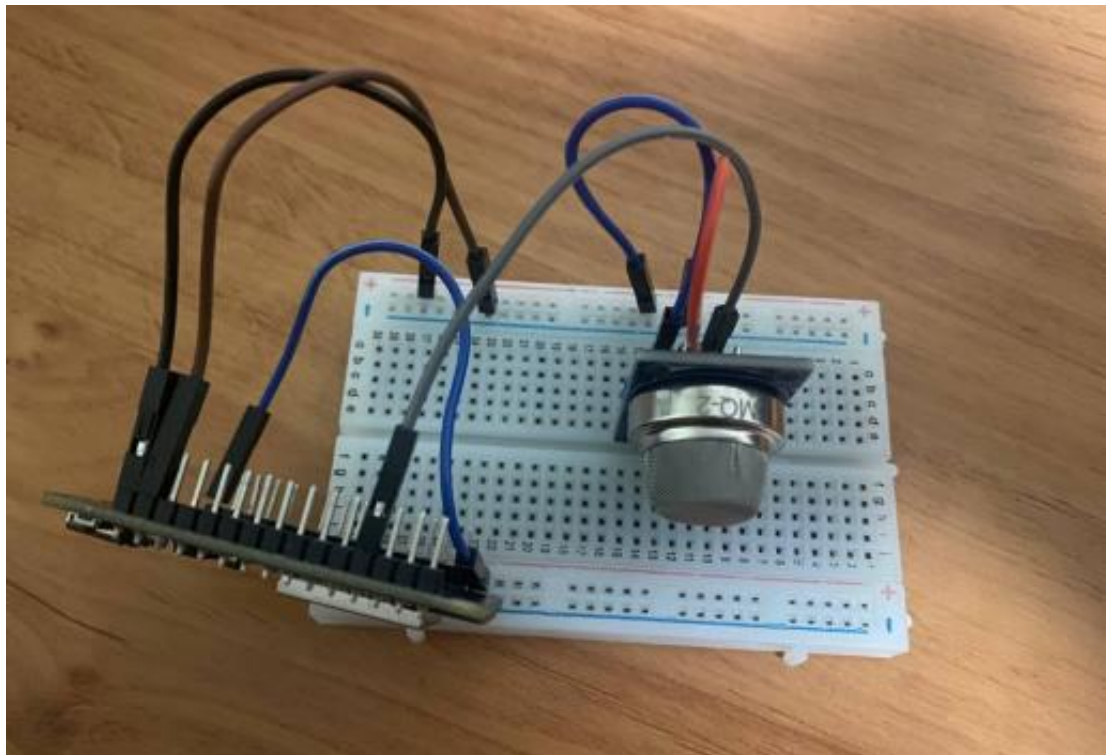


Рисунок 3.12 — Підключений датчик диму MQ-2

Підключення датчику виконано відповідно до функціональної схеми, отже можна вважати виконано вірно.

Останнім датчиком, який використовується у складі пристрою, є датчик температури та вологості DHT11. Його основне завдання — виявлення різких змін температури, які можуть свідчити про початок пожежі або перегрів обладнання. Завдяки йому система здатна не лише реагувати на очевидні прояви займання, як-от дим чи полум'я, а й прогнозувати небезпечні ситуації за температурними показниками.

Крім функцій безпеки, DHT11 дає змогу реалізувати в пристрої додаткові можливості, такі як моніторинг навколишньої температури в реальному часі, що може бути корисним для побутового використання — наприклад, для контролю мікроклімату в приміщенні. наведено на рисунку 2.13.

Цифровий вхід датчика температури DHT11 (D0) під'єднано до порту ESP32 під номером 22. Живлення під'єднано до рядку портів макетної плати як живиться 3.3 V.Заземлення під'єднується відповідно.

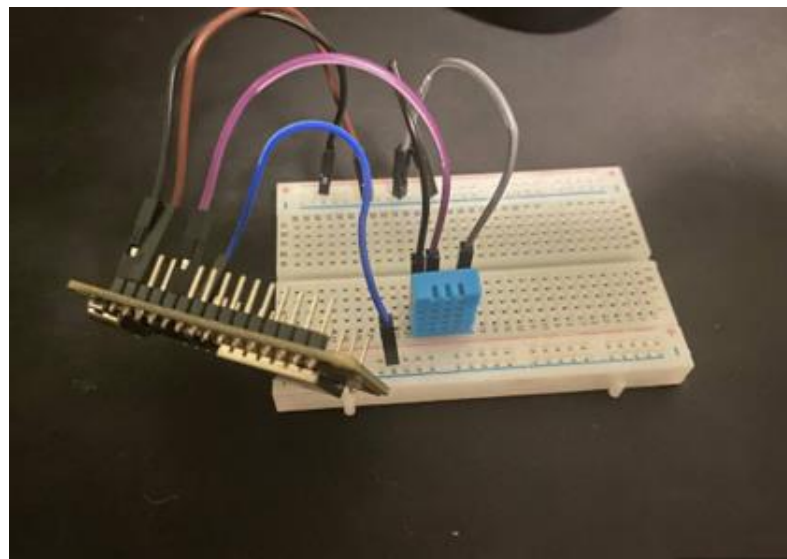


Рисунок 3.13 — Підключений датчик температури DHT11

Підключення датчику виконано відповідно до функціональної схеми, отже можна вважати виконано вірно.

3.4 Створення коду у середовищі Arduino Ide

Для програмування мікроконтролера буде використовуватись середовище розробки Arduino IDE, яке забезпечує зручний інтерфейс для написання, компіляції та завантаження програмного коду на контролер. Цей програмний засіб дозволяє легко створювати проєкти для платформ на основі Arduino та сумісних мікроконтролерів. Робота в середовищі IDE спрощена завдяки зрозумілому редактору коду, наявності прикладів, вбудованому

компілятору та засобу завантаження програми до плати через USB.

Основною мовою програмування, яка використовується для написання програм у цьому середовищі, є C/C++. Вона дозволяє ефективно взаємодіяти з апаратною частиною пристрою та керувати окремими елементами, такими як датчики, актуатори чи модулі зв'язку. Для створення коректного коду важливо дотримуватись основ синтаксису цієї мови та мати базове уявлення про логіку роботи мікроконтролерів.

Після завантаження Arduino на екрані з'являється вікно програми, яке включає редактор коду — область, де створюється та редагується скетч.

Вікно редактору продемонстровано на рисунку 3.14.

Для того щоб почати програмувати потрібно вибрати саме наш мікроконтролер це робититься у вкладці "інструменти" (рис.3.15) у верхньому меню програми, де вказується тип мікроконтролера. Однак при скачування програми у ній не одразу з'являється плата Esp 32. Для того щоб ми змогли працювати з цією платою, потрібно встановити спеціальну бібліотеку[20].

Для встановлення бібліотеки потрібно виконати такі дії:

- у меню "Інструменти" обираємо пункт "Менеджер плат;
- у полі пошуку вводимо "ESP32";
- серед результатів обираємо ESP32 by Espressif Systems та натискаємо кнопку "Встановити".

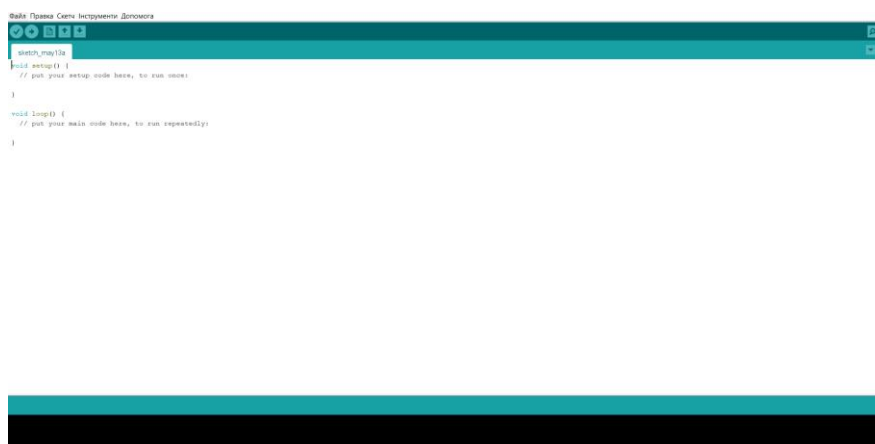


Рисунок 3.14 — Вікно редактору коду

Після встановлення бібліотеки напроти неї буде написано installed що в перекладі встановлено (рис 3.16).

Після встановлення потрібно вибрати модель нашої плати, конкретно в цьому випадку — це ESP32 dev module і можна переходити до самого програмування.

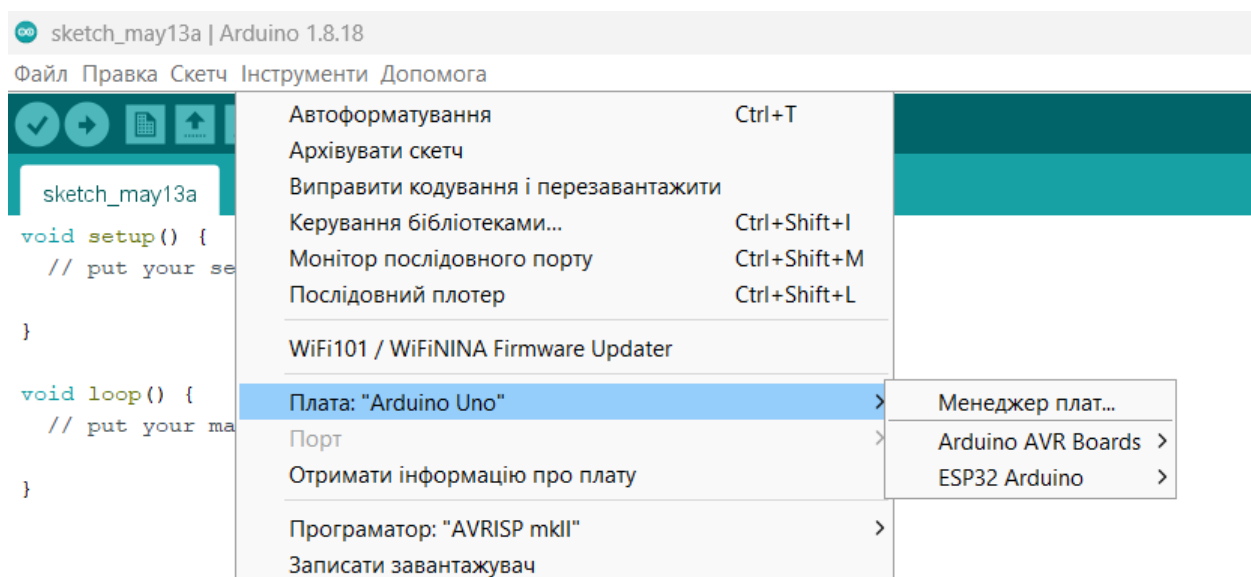


Рисунок 3.15 — Вибір відповідної плати

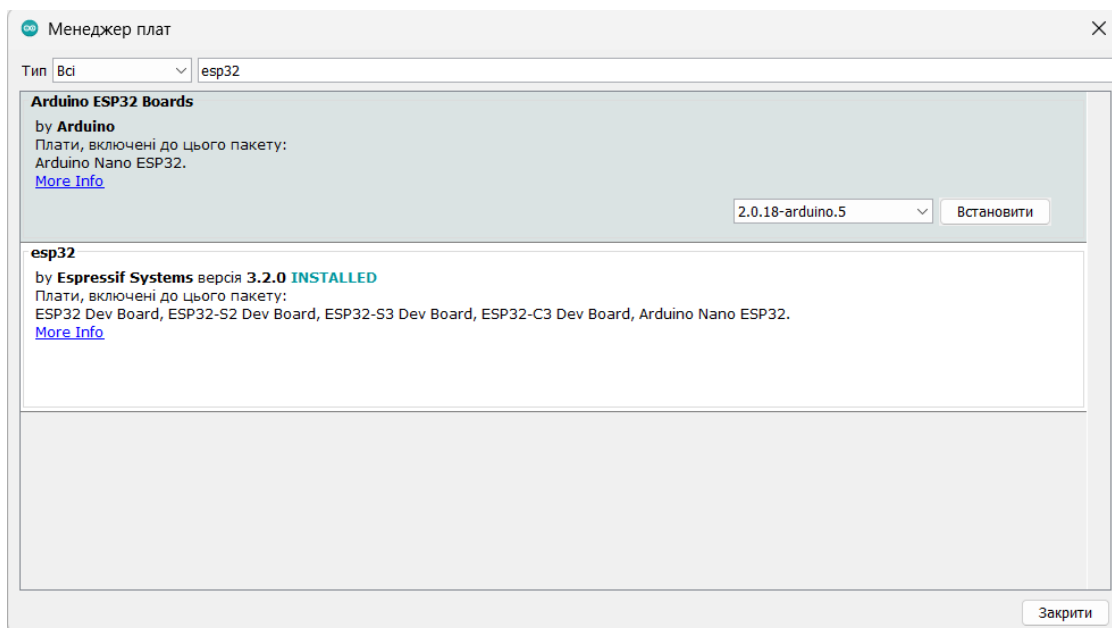


Рисунок 3.16 — Встановлення бібліотеки для плати

Для початку потрібно встановити ще деякі додаткові бібліотеки, а саме:

UniversalTelegramBo та DHT sensor library. Для встановлення цих бібліотек потрібно зайти у вкладку "скетч", "додати бібліотеки", "керування бібліотеками" (рис.3.17). Далі так само як і з платою в полі для тексту пишемо назву бібліотеки яку нам потрібно та натискаємо "встановити".

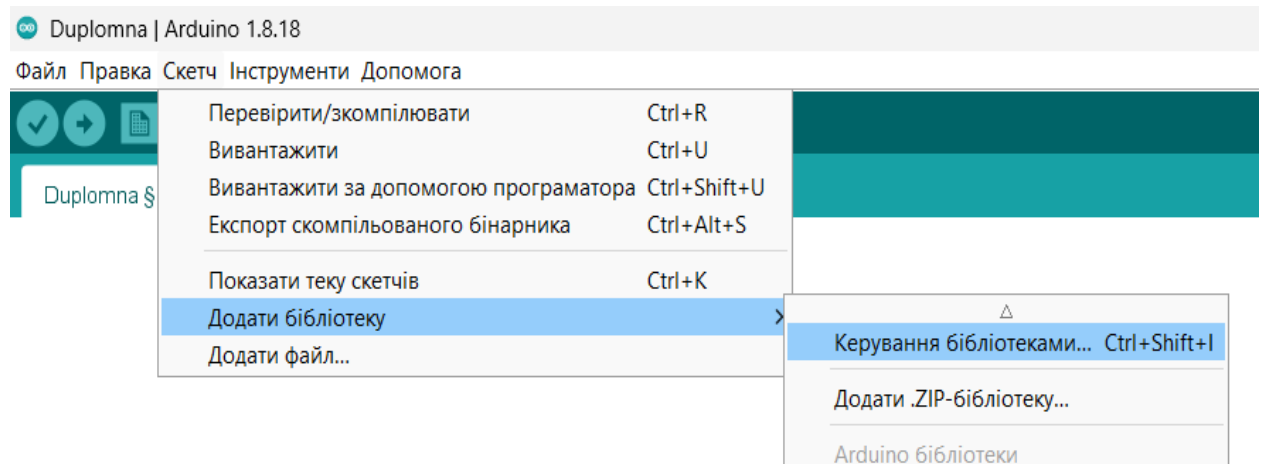


Рисунок 3.17 — Додавання бібліотки

Тепер переходимо до написання коду. Спочатку ми підключаємо бібліотеки, які додали раніше (лістинг.3.1). WiFi.h використовується для підключення ESP32 до Wi-Fi-мережі. WiFiClientSecure.h забезпечує захищене з'єднання через HTTPS, що необхідно для взаємодії з Telegram. UniversalTelegramBot.h — бібліотека для роботи з Telegram-ботом. DHT.h потрібна для зчитування температури з датчика DHT11.

Лістинг 3.1 — Підключення бібліотек

```
#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <DHT.h>
```

Далі виконуємо мережеві налаштування для з'єднання з Wi-Fi і Telegram-ботом. Для цього ми вказуємо назву Wi-Fi мережі (WIFI_SSID) та пароль до неї (WIFI_PASSWORD). Ці дані потрібні для підключення ESP32 до Інтернету. Без активного з'єднання з мережею мікроконтролер не зможе обмінюватися даними з Telegram-сервером, а отже, не зможе надсилати

сповіщення або отримувати команди від користувача.

Параметри BOT_TOKEN та CHAT_ID забезпечують авторизацію у Telegram API — токен дозволяє ідентифікувати конкретного бота, а ID — це номер користувача або групи, куди надходитимуть лістинг (3.2).

Лістинг 3.2 — Налаштування для з'єднання з Wi-Fi і Telegram-ботом

```
#define WIFI_SSID "TP-Link_0094"
#define WIFI_PASSWORD "1516ca14975531b3d7d7a3c9b0"
#define BOT_TOKEN "7730244871:AAHtrg3LvI65tGjib83-1uv0hQzm4nm-IIk"
#define CHAT_ID "573046564"
```

Наступним етапом є — визначення пінів до яких підєднані до плати. Вони наведені у лістингу 3.3.

Лістинг 3.3 — Піни до яких підєднані модулі

```
#define GAS_SENSOR_PIN 34 // MQ-2
#define FLAME_SENSOR_PIN 32 // KY-026
#define BUZZER_PIN 27 // Бузер
#define DHTPIN 14 // DHT11
#define DHTTYPE DHT11
```

У функції setup() відбувається ініціалізація: задаються режими роботи пінів, запускається серійний монітор, встановлюється Wi-Fi-з'єднання та запускається робота датчика температури. Команда secured_client.setInsecure() дозволяє не перевіряти SSL-сертифікати при роботі з Telegram, що спрощує зв'язок (лістинг 3.4).

Лістинг 3.4 — Функція setup()

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

  pinMode(GAS_SENSOR_PIN, INPUT);
  pinMode(FLAME_SENSOR_PIN, INPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
  dht.begin();
```

```

WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
Serial.print("Підключення до WiFi");
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
}
Serial.println("\nWiFi підключено");

secured_client.setInsecure(); // ігноруємо SSL
}

```

Далі йде основна функція для визначення пожежі `checkFire()`. Вона наведена у лістингу 3.5. Саме вона відповідає за постійний моніторинг ситуації та аналіз даних, отриманих від сенсорів. У середині цієї функції виконується зчитування показників з двох ключових датчиків: MQ-2 (який визначає концентрацію диму чи парів горючих речовин) та KY-026 (який реагує на присутність відкритого полум'я).

Для цього спочатку виконується зчитування аналогового значення з MQ-2 за допомогою `analogRead(GAS_SENSOR_PIN)`, і цифрового значення з KY-026 — через `analogRead(FLAME_SENSOR_PIN)`. Ці значення виводяться у серійний монітор для відстеження в реальному часі та полегшення налагодження системи.

Далі йде перевірка: якщо сигналізація дозволена (`alarmEnabled == true`) і хоча б один із сенсорів фіксує перевищення критичних значень (концентрація газу вища за 500 або значення сенсора полум'я нижче 3500 — що свідчить про присутність вогню), активується звуковий сигнал шляхом подачі логічної одиниці на пін бузера (`digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH)`).

Одночасно на вказаний Telegram-чат надсилається повідомлення про виявлення небезпеки з попередженням — це дозволяє миттєво інформувати користувача, навіть якщо його немає поруч.

У випадку, якщо жоден із датчиків не зафіксував критичної ситуації або якщо сигналізацію було вимкнено вручну, бузер вимикається (`digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW)`), і система повертається до спостереження. Такий режим дозволяє пристрою залишатися в стані постійної готовності до

реагування на можливу загрозу.

Лістинг 3.5 — Функція checkFire()

```
void checkFire() {
    int gasValue = analogRead(GAS_SENSOR_PIN);
    int flameValue = analogRead(FLAME_SENSOR_PIN);

    Serial.print("Значення датчика: ");
    Serial.println(flameValue);

    if (alarmEnabled && (gasValue > 500 || flameValue < 3500)) {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
        bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔥 УВАГА! Виявлено пожежу!🔥", "");
    } else {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    }
}
```

Далі іде функція `handleMessages()`, яка забезпечує взаємодію користувача з телеграм ботом (лістинг 3.5). Користувач може надсилати команди `/start`, `/temperature`, `/on` та `/off`. Відповідно, він отримає вітальне повідомлення, поточну температуру, або може увімкнути/вимкнути сигналізацію.

Лістинг 3.5 — Функція handleMessages()

```
void handleMessages() {
    int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);

    for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
        String text = bot.messages[i].text;

        if (text == "/start") {
            bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔔 Вітаю! Ви підключені до системи пожежної сигналізації.", "");
        } else if (text == "/temperature") {
            float t = dht.readTemperature();
            if (!isnan(t)) {
                bot.sendMessage(CHAT_ID, "🌡 Поточна температура: " + String(t, 1) + "°C", "");
            } else {

```

```

        bot.sendMessage(CHAT_ID, "⚠ Неможливо зчитати температуру.
Перевір підключення DHT11.", "");
    }
    } else if (text == "/off") {
        alarmEnabled = false;
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
        bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔕 Сигналізацію вимкнено.", "");
    } else if (text == "/on") {
        alarmEnabled = true;
        bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔔 Сигналізацію ввімкнено.", "");
    } else {
        bot.sendMessage(CHAT_ID, "❓ Невідома команда.", "");
    }
}
}
}

```

Остання функція — це функція `loop()` (лістинг 3.6). Вона постійно виконує перевірку стану датчиків та обробку повідомлень Telegram-бота. Вона працює циклічно з періодом у 1000 мілісекунд, що забезпечує постійний моніторинг ситуації та швидке реагування на тривоги.

Лістинг 3.6 — Функція `loop()`

```

void loop() {
    if (millis() - lastMsgTime > checkInterval) {
        checkFire();
        handleMessages();
        lastMsgTime = millis();
    }
}

```

3.5 Створення телеграм боту

Telegram — це сучасний багатоплатформовий месенджер, який набув широкого поширення завдяки своїй надійності, швидкодії та розширеному функціоналу. Однією з корисних можливостей сервісу є підтримка ботів — спеціалізованих автоматизованих облікових записів, які можуть приймати повідомлення від користувачів, реагувати на команди, надсилати сповіщення та взаємодіяти з іншими пристроями або сервісами через інтернет. Завдяки цьому Telegram часто використовується для дистанційного керування

електронними системами, зокрема тими, що базуються на мікроконтролерах типу ESP32.

У межах даного проєкту Telegram-бот відіграє роль проміжного засобу зв'язку між користувачем і пожежним пристроєм. Його основна функція — інформування про надзвичайні ситуації, такі як виявлення диму, підвищеної температури чи відкритого полум'я. Крім того, через бота можна передавати керувальні команди, наприклад, вимкнути звукову сигналізацію або дізнатися значення температури в режимі реального часу.

Щоб створити власного Telegram-бота, необхідно скористатися вбудованим сервісом Telegram під назвою BotFather (рис. 3.18). Його легко знайти через пошук у застосунку, а подальше створення виконується у кілька простих кроків. Спочатку користувач вводить команду `/newbot`, далі задає довільну назву для бота та унікальне ім'я користувача, яке має завершуватися на `bot`. Після завершення реєстрації сервіс надає токен — спеціальний ідентифікатор, що потрібен для підключення пристрою до Telegram API.



Рисунок 3.18 — BotFather

На стороні мікроконтролера, зокрема ESP32, для реалізації обміну повідомленнями з месенджером Telegram використовується спеціалізована бібліотека UniversalTelegramBot. Вона значно спрощує інтеграцію пристрою з Telegram API, забезпечуючи функціонал для надсилання повідомлень, обробки відповідей, отримання команд та сповіщень користувача.

Окрім цього, для організації захищеного з'єднання з Telegram-сервером

застосовується бібліотека WiFiClientSecure, яка використовує протокол HTTPS (SSL/TLS), що забезпечує конфіденційність і цілісність переданих даних. Для підключення мікроконтролера до бездротової мережі використовується стандартна бібліотека WiFi.h, яка дозволяє встановити з'єднання з Wi-Fi-мережею, отримати IP-адресу та підтримувати стабільне з'єднання протягом усього часу роботи пристрою.

Для перевірки роботи сповіщення через Telegram проводиться імітація пожежної ситуації: до пристрою підносять джерело відкритого вогню, наприклад запалену сірник або запальничку. Інфрачервоний датчик полум'я фіксує випромінювання, характерне для горіння, що ініціює спрацювання системи.

У відповідь на виявлену небезпеку пристрій виконує дві основні дії:

- активація звукового сигналу — вмикається бузер, який починає видавати гучний звук;
- надсилання сповіщення у Telegram — бот миттєво надсилає повідомлення користувачу про те, що виявлено ознаки пожежі (рисунок 3.19).

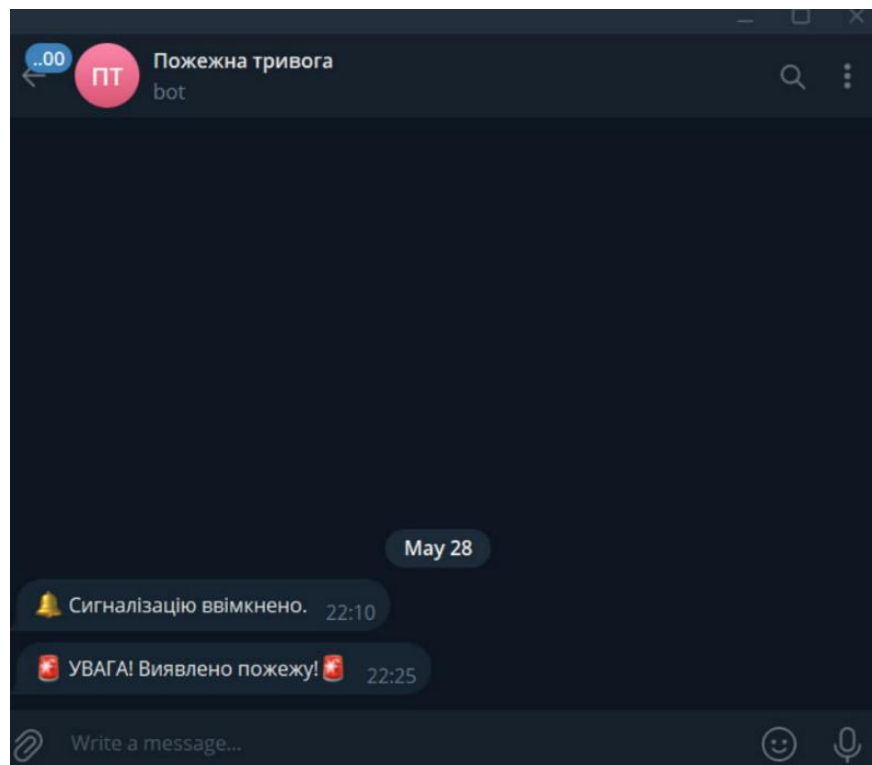


Рисунок 3.19 — Перевірка працездатності телеграм бот

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено та реалізовано мікропроцесорний пристрій пожежної сигналізації з функцією сповіщення користувача через месенджер Telegram. Даний проєкт орієнтований на створення доступного, компактного та енергоефективного рішення для виявлення загроз займання в побутових умовах або на малих об'єктах.

У процесі дослідження було проведено аналітичний огляд сучасних апаратних та програмних засобів пожежної сигналізації. На основі аналізу обрано оптимальні компоненти для реалізації системи: мікроконтролер ESP32, датчик диму та газів MQ-2, датчик полум'я KY-026, а також температурний датчик DHT11. Перевагою обраної апаратної платформи є наявність вбудованого модуля Wi-Fi, що дозволило забезпечити віддалену передачу сповіщень у реальному часі без додаткових модулів зв'язку.

Було розроблено структурну та принципову схему підключення всіх елементів системи, а також створено програмне забезпечення за допомогою середовища Arduino IDE. Програмна частина включає реалізацію алгоритмів зчитування даних із сенсорів, аналізу показників та умов спрацьовування тривоги. Особливу увагу приділено розробці Telegram-бота, що забезпечує зручну взаємодію з користувачем — отримання повідомлень про небезпеку, запит температури, а також можливість дистанційного ввімкнення або вимкнення сигналізації.

Система успішно пройшла етапи тестування. Було підтверджено її здатність оперативно реагувати на появу диму, газу або відкритого полум'я. Звукове сповіщення реалізовано через бузер, а миттєве повідомлення надсилається через Telegram, що значно підвищує рівень інформування користувача у критичних ситуаціях.

Результатом роботи став повністю функціональний прототип, який підтвердив доцільність використання недорогих компонентів у розробці автономних систем пожежної сигналізації. Запропоноване рішення має

потенціал для подальшого вдосконалення — зокрема, розширення кількості сенсорів, підключення GSM-модуля або інтеграції з іншими системами безпеки.

Таким чином, поставлені в роботі цілі та завдання були повністю виконані. Розроблена система є практичною, простою у використанні та має значний потенціал для застосування у реальних умовах. Її впровадження може сприяти підвищенню рівня пожежної безпеки у побуті та зниженню ризиків для життя, здоров'я людей і збереження матеріальних цінностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Томенко В. І., Мельник Р. П., Мельник О. Г., Шкарабура І. М., Костирка О. В., Зобенко О. О. Системи пожежної сигналізації, оповіщення та спостереження : навчальний посібник / Національний університет цивільного захисту України, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля. — Черкаси, 2023. — 198 с.
2. Національний університет цивільного захисту України, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля. Томенко В. І., Мельник Р. П., Мельник О. Г., Шкарабура І. М., Костирка О. В., Зобенко О. О. Системи пожежної сигналізації, оповіщення та спостереження : навчальний посібник для здобувачів вищої освіти ВНЗ ДСНС України. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2023. 198 с.
3. Гринько О.М., Коваленко С.В. Автоматичні системи пожежної безпеки: навчальний посібник. — Харків: ХНАДУ, 2019. — 180 с.
4. NFPA 72 - National Fire Alarm and Signaling Code. National Fire Protection Association, 2022. URL: <https://www.nfpa.org/>
5. Fire Protection Handbook. 21st Edition, National Fire Protection Association (NFPA), 2020.
6. Тимченко В. І. Пожежні сповіщувачі: класифікація, принцип роботи, застосування. Електронне видання, 2021. URL: <https://fire-signal.com.ua>
7. IEC 60601-1-2. Medical Electrical Equipment — Collateral standard: Electromagnetic disturbances. International Electrotechnical Commission, 2014.
8. ASTM E2922-13. Standard Guide for Fire Alarm Control Equipment. ASTM International, 2013.
9. NFPA 101 — Life Safety Code. National Fire Protection Association, 2021.
10. Козлов В. В. Протипожежний захист будівель: навчальний посібник. — Харків: ХНУ, 2019. — 198 с.
11. Петров С. І. Автоматичні системи пожежної сигналізації: проектування та монтаж. — Київ: Техніка, 2017. — 224 с.

12. Abbas K. M., Abdulkadhim A. J. Fire Alarm System: Design and Implementation. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), vol. 7, issue 10, October 2018.

13. Терлецький Т. В., Федорчук-Мороз В. І., Кайдик О. Л. Системи пожежної сигналізації: навчальний підручник для студентів технічних спеціальностей / під заг. ред. Т. В. Терлецького. — Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. — 130 с.

14. Системи пожежної та охоронної сигналізації: навчальний посібник. — Львів: Сполом, 2013. — 138 с.

15. Design and Implementation of a Fire Detection, Alarm and Fighting

16. FireProtect — Ajax Systems. URL: <https://ajax.systems/ua/products/fireprotect/>

17. Бездротовий датчик диму з Wi-Fi Trinix TRX-SD01WiFi — Trinix. URL: <https://trinix.ua/product/bezdrotovyj-datchyk-dymu-z-wifi-trinix-trx-sd01wifi/>

18. Сигналізатор пожежний CV-212-12 — Fire-Stop. URL: <https://fire-stop.com.ua/ua/alarm/cv-212-12.html>.

19. Development Boards — Espressif Systems. URL: <https://www.espressif.com/en/products/devkits>

20. Бібліотеки Arduino — ITMaster. URL: <https://itmaster.biz.ua/electronics/arduino/arduino-libs.html>

ДОДАТОК А
Технічне завдання

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

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

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на виконання бакалаврського кваліфікаційного проєкту
«Мікропроцесорний засіб пожежних сигналізації»
08-54.БКР.005.00.000.ТЗ

Науковий керівник: доцент к.т.н.
Тарновський М.Г.

Студент групи 1СП-216
Вершняк Д.С.

1 Підставою для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)

1.1 Актуальність теми обумовлена необхідністю забезпечення безпеки людини та захисту майна, що є одним із головних пріоритетів сучасного суспільства. Зростанням кількості побутових та промислових пожеж, що завдають шкоди здоров'ю людей, знищують майно та створюють екологічні загрози. Сучасні пожежні сигналізації часто є дорогими або потребують складної інфраструктури. Розробка автономного, недорогого та ефективного пристрою пожежної сигналізації на базі мікроконтролера ESP32 з функцією віддаленого сповіщення відповідає актуальним потребам суспільства та відповідає напрямку підготовки фахівців з комп'ютерної інженерії.

1.2 Наказ про затвердження теми БКР.

2 Мета БКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — розширення функціональних можливостей засобу системи пожежної сигналізації.

2.2 Призначення розробки — створити компактну, доступну та ефективну систему пожежної сигналізації для використання у побутових умовах або на малих підприємствах з функцією віддаленого моніторингу та сповіщення про потенційну небезпеку.

3 Вихідні дані для виконання БКР

3.1 Призначення — виявлення первинних ознак пожежі.

3.2 Кількість контрольованих параметрів — не менше 2.

3.3 Зовнішній інтерфейс — Wi-Fi.

3.4 Сповіщення — звуковий сигнал, Telegram.

3.5 Живлення — +5В.

3.6 Середовище розробки — Arduino IDE.

4 Вимоги до виконання БКР

4.1 Провести аналіз предметної області.

4.2 Вибрати та обґрунтувати аналоги.

4.3 Провести аналіз технічних рішень у сфері пожежного сповіщення.

4.4 Розробити функціональну схему мікропроцесорного засобу.

4.5 Розробити адміністративну панель.

5 Етапи БКР та очікувані результати

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

Таблиця А.1 – Етапи БКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Огляд і аналіз існуючих методів та рішень систем виявлення пожежі.	21.03.25	30.03.25	Аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Дослідження методів пожежної сигналізації	21.03.25	30.03.25	Розділ 1
3	Проектування мікропроцесорного засобу пожежної сигналізації	31.03.25	10.04.25	Розділ 2
4	Програмування мікропроцесорного засобу пожежної сигналізації	10.04.25	20.04.25	Розділ 3
5	Апробація та впровадження результатів дослідження			Тези доповідей
6	Опублікування результатів досліджень			Стаття
7	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	20.04.25	11.05.25	ПЗ, графіч. матеріал і презентація
8	Підготовка супроводжуючих документів, їх підписування, проходження нормоконтролю та тесту на плагіат	13.05.25	13.05.25	Оформлені документи

6 Матеріали, що подаються до захисту БКР

До захисту подаються: пояснювальна записка БКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту БКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до БКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення БКР діючим вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту БКР

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

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання БКР

8.1 При оформлювання БКР використовуються:

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

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

ДОДАТОК Б

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Мікропроцесорний засіб пожежної сигналізації

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
системою StrikePlagiarism 11,5 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

✓ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту

☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.

☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

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

(підпис)

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

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис)

Захарченко С.М.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Вершняк Д.С.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В

ГРАФІЧНА ЧАСТИНА

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАСІБ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ



Рисунок В.1 — Функціональна схема пристрою

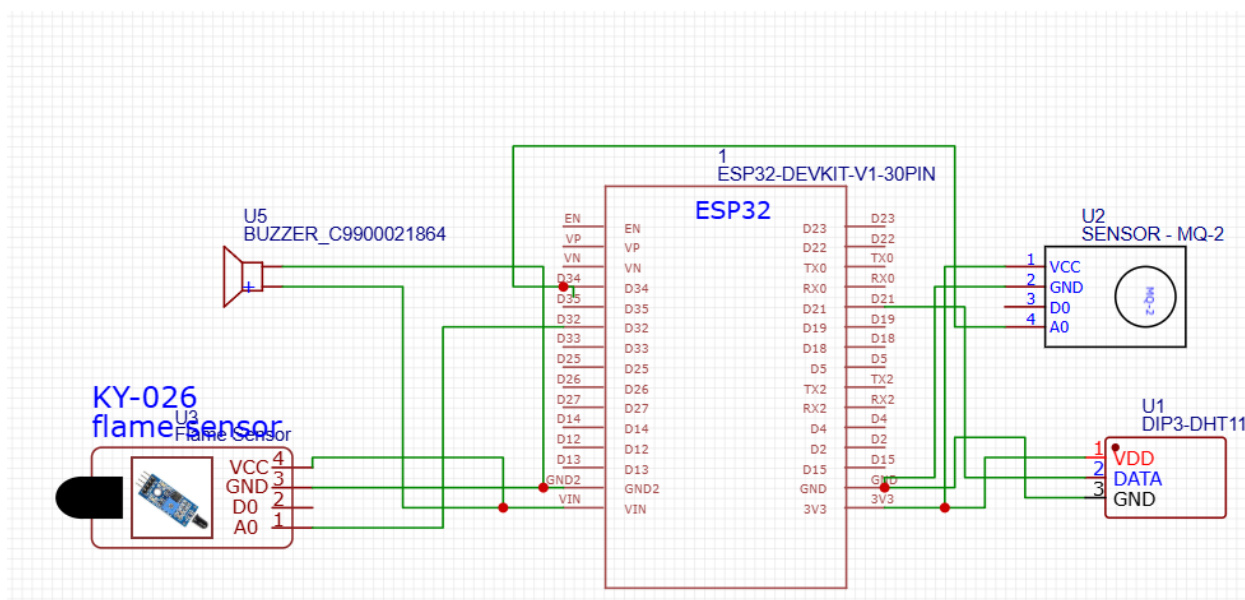


Рисунок В.2 — Структурна схема пристрою

ДОДАТОК Г

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ЗАСІБ ПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ

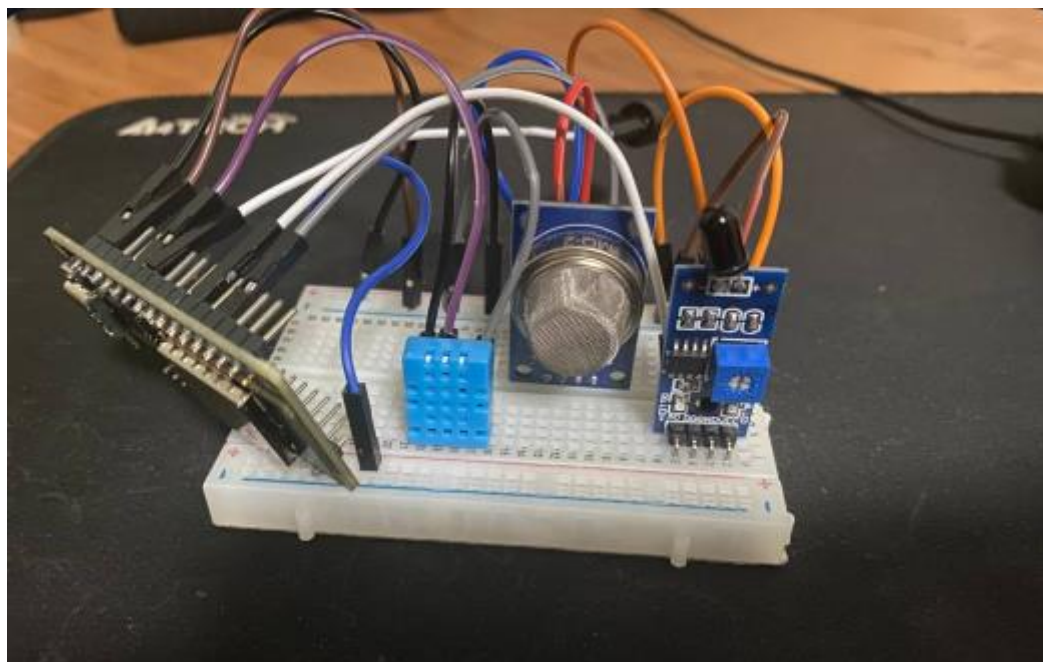


Рисунок Г.1 — Макет приладу

Додаток Д

Лістинг програмного забезпечення

```

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClientSecure.h>
#include <UniversalTelegramBot.h>
#include <DHT.h>

#define WIFI_SSID "TP-Link_0094"
#define WIFI_PASSWORD "1516ca14975531b3d7d7a3c9b0"
#define BOT_TOKEN "7730244871:AAHtrg3LvI65tGjib83-1uv0hQzm4nm-IIk"
#define CHAT_ID "573046564"

// Піни підключення
#define GAS_SENSOR_PIN 34      // MQ-2
#define FLAME_SENSOR_PIN 32    // KY-026
#define BUZZER_PIN 27          // Бузер
#define DHTPIN 14              // DHT11
#define DHTTYPE DHT11

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
WiFiClientSecure secured_client;
UniversalTelegramBot bot(BOT_TOKEN, secured_client);

bool alarmEnabled = true;
unsigned long lastMsgTime = 0;
const unsigned long checkInterval = 1000;

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

  pinMode(GAS_SENSOR_PIN, INPUT);
  pinMode(FLAME_SENSOR_PIN, INPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
  dht.begin();

  WiFi.begin(WIFI_SSID, WIFI_PASSWORD);
  Serial.print("Підключення до WiFi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("\nWiFi підключено");
}

```

```

    secured_client.setInsecure(); // ігноруємо SSL
}

void checkFire() {
    int gasValue = analogRead(GAS_SENSOR_PIN);
    int flameValue = analogRead(FLAME_SENSOR_PIN);

    Serial.print("Значення датчика: ");
    Serial.println(flameValue);

    if (alarmEnabled && (gasValue > 500 || flameValue < 3500)) {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, HIGH);
        bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔥 УВАГА! Виявлено пожежу! 🔥", "");
    } else {
        digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
    }
}

void handleMessages() {
    int numNewMessages = bot.getUpdates(bot.last_message_received + 1);

    for (int i = 0; i < numNewMessages; i++) {
        String text = bot.messages[i].text;

        if (text == "/start") {
            bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔔 Вітаю! Ви підключені до системи пожежної сигналізації.", "");
        } else if (text == "/temperature") {
            float t = dht.readTemperature();
            if (!isnan(t)) {
                bot.sendMessage(CHAT_ID, "🌡 Поточна температура: " + String(t, 1) + "°C", "");
            } else {
                bot.sendMessage(CHAT_ID, "⚠ Неможливо зчитати температуру. Перевір підключення DHT11.", "");
            }
        } else if (text == "/off") {
            alarmEnabled = false;
            digitalWrite(BUZZER_PIN, LOW);
            bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔕 Сигналізацію вимкнено.", "");
        } else if (text == "/on") {
            alarmEnabled = true;

```

```
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "🔔 Сигналізацію ввімкнено.", "");  
  } else {  
    bot.sendMessage(CHAT_ID, "❓ Невідома команда.", "");  
  }  
}  
}  
  
void loop() {  
  if (millis() - lastMsgTime > checkInterval) {  
    checkFire();  
    handleMessages();  
    lastMsgTime = millis();  
  }  
}
```