

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення автоматичного керування
функціонуванням аварійного пожежогасіння в приміщенні
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи АКТСІ-21-1

Євгеній СЬОМКІН
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма Системна інженерія
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Іванов Л.С.
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

Ігор НЕВЛЮДОВ

2025 р.

Я, Сьомкін Євгеній Олексійович, як здобувач вищої освіти ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Я не використовував штучний інтелект для підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

"03" червня 2025 р.



Євгеній СЬОМКІН

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ _____
Кафедра _____ КІТАР _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології _____
(код і повна назва)
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Системна інженерія _____
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____ (підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві _____ Сьомкіну Євгенію Олексійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розроблення автоматичного керування функціонуванням аварійного пожежогасіння в приміщенні _____

Затверджена наказом по університету від _____ 19.05.2025 р. № 391 Ст _____

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 26.06.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Мікроконтролер Arduino UNO _____

3.2 Мова розробки C++ _____

3.3 Датчики MQ-2, DS18B20, модуль реле, кнопка, світлодіод, бузер _____

3.4 Віртуальна схема у середовищі Wokwi _____

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Вступ _____

4.2 Аналіз існуючих систем пожежогасіння _____

4.3 Проектування конструкції системи автоматичного пожежогасіння _____

4.4 Вибір та об'єднання компонентної бази системи _____

4.5 Розроблення автоматичної системи пожежогасіння в приміщенні _____

4.6 Висновки та перелік джерел посилань _____

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

Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.ppt) – 10 с. формату А4

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технічного завдання	29.04.2025	виконано
2	Аналіз структури автоматизованих систем пожежогасіння	02.05.2025	виконано
3	Проектування конструкції системи автоматичного пожежогасіння	07.05.2025	виконано
4	Розробка структурної схеми системи	12.05.2025	виконано
5	Вибір апаратної платформи та компонентів системи	16.05.2025	виконано
6	Розроблення автоматичної системи пожежогасіння в приміщенні	28.05.2025	виконано
7	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2025	виконано
8	Подання роботи на нормоконтроль	12.06.2025	виконано
9	Подання роботи на перевірку Інтернет-сервісом StrikePlagiarism	14.06.2025	виконано
10	Подання роботи на рецензію	16.06.2025	виконано
11	Подання роботи на підпис зав. кафедри	19.06.2025	виконано
12	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК	20.06.2025	виконано

Дата видачі завдання 28.04.2025

Здобувач _____ Євгеній СЬОМКІН
(підпис) (власне ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____ доц. Леонід ІВАНОВ
(підпис) (посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 56 с., 24 рис., 2 дод., 15 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ПОЖЕЖОГАСІННЯ, ARDUINO, ПОЖЕЖНІ ДАТЧИКИ.

Об'єкт розробки – об'єкт автоматичного керування аварійним пожежогасінням у приміщенні.

Предмет розробки – процес автоматичного реагування та апаратна реалізація системи на базі Arduino UNO.

Мета роботи – створення низьковартісної автономної системи автоматичного пожежогасіння для невеликих комерційних приміщень з урахуванням ризику відключення електропостачання.

У роботі проведено технічний аналіз існуючих типів автоматизованих систем пожежогасіння. Систематизовано принципи їх дії. Описано проблеми їх адаптації до умов малого бізнесу. Обґрунтовано необхідність розробки окремої компактної системи з мінімальними вимогами до інфраструктури.

Розроблено три конфігурації структурної схеми системи для приміщень різної площі. Підібрано компонентну базу, побудовано алгоритм спрацювання системи за логікою AND – тривога активується лише при одночасному перевищенні порогових значень температури і задимленості.

Тестування виконано у віртуальному середовищі Wokwi. Функціональна логіка підтверджена при моделюванні типових сценаріїв загрози. Зроблено висновки про працездатність розробленої конфігурації при обмежених ресурсах.

У результаті розроблена повноцінна макетна система автоматичного пожежогасіння, яка здатна працювати автономно, реагувати на небезпеку відповідно до заданих умов та підходить для впровадження в малих приміщеннях із обмеженим бюджетом.

ABSTRACT

Explanatory note: 56 pages, 24 pictures, 2 applications, 15 sources.

AUTOMATION, CONTROL SYSTEM, FIRE SUPPRESSION, ARDUINO, FIRE DETECTORS.

Object of development – an automatic control system for emergency fire suppression in indoor premises.

Subject of development – the response logic algorithm and hardware implementation of the system based on Arduino UNO.

Purpose of the work – to create a low-cost autonomous fire suppression system for small commercial premises, taking into account the risk of power outages.

The work includes a technical analysis of existing types of automated fire suppression systems. The principles of their operation are systematized. The limitations of adapting such systems to the conditions of small businesses are described. The need for a separate compact system with minimal infrastructure requirements is substantiated.

Three configurations of the system's structural diagram have been developed for premises of different sizes. The component base was selected, a triggering algorithm based on AND logic has been implemented – the alarm activates only when both temperature and smoke thresholds are exceeded simultaneously.

Testing was conducted in the virtual environment Wokwi. The functional logic was verified through modeling of typical threat scenarios. Conclusions were drawn regarding the operability of the developed configuration under resource-limited conditions.

As a result, a fully functional prototype of the autonomous fire suppression system was developed. It operates independently, responds to threats according to predefined conditions, and is suitable for implementation in small premises with limited budgets.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	8
Вступ.....	9
1 Аналіз технічного завдання.....	11
1.1 Аналіз структури автоматизованих систем пожежогасіння	11
1.2 Типи систем пожежогасіння.....	14
1.3 Огляд існуючих автоматичних систем пожежоної безпеки.....	20
2 Проектування конструкції системи пожежогасіння.....	23
2.1 Проектування системи пожежогасіння.....	23
2.2 Розробка структурної схеми системи.....	24
2.3 Вибір компонентної бази.....	31
2.4 Опис алгоритму роботи системи.....	35
2.5 Опис принципу пожежогасіння.....	37
2.6 Дослідження стійкості та якості лінійних систем автоматичного управління.....	38
3 Розробка системи пожежогасіння.....	42
3.1 Схема підключення елементів на платі.....	42
3.2 Реалізація логіки виявлення пожежі.....	46
3.3 Тестування роботи системи пожежогасіння.....	48
3.4 Охорона праці.....	51
Висновки	53
Перелік посилань	55
Додаток А Лістинг програми у Wokwi.....	57
Додаток Б Демонстраційний матеріал	61

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСПГ – автоматизована система пожежогасіння

ОЗП – оперативний запам'ятовувальний пристрій

ПЛК – програмований логічний контролер

СПГ – система пожежогасіння

ВСТУП

Кваліфікаційна робота є завершальним етапом підготовки здобувача вищої освіти першого бакалаврського рівня та передбачає демонстрацію сформованих професійних компетентностей. В умовах зростання вимог до безпеки експлуатації електротехнічного обладнання, особливо в малих приміщеннях комерційного та технічного призначення, особливою актуальністю набуває проблема автоматизації систем пожежогасіння з мінімальним залученням людини.

Робота присвячена розробленню системи автоматичного керування функціонуванням аварійного пожежогасіння в приміщенні на базі мікроконтролера Arduino. Така система має забезпечувати виявлення ознак займання та ініціацію гасіння без затримок. Вибраний підхід орієнтований на простоту та економічність, що дозволяє використовувати його в умовах малого бізнесу, тимчасових споруд або технічних приміщень.

Актуальність теми пояснюється зростанням вимог до рівня безпеки у сучасних технічних системах. Своєчасне виявлення надзвичайних ситуацій, таких як пожежа, а також негайне реагування на них, відіграє ключову роль у збереженні життя, здоров'я людей і матеріальних цінностей. Особливої актуальності набувають автоматизовані системи пожежогасіння, які здатні миттєво реагувати на появу загрози та мінімізувати її наслідки без участі людини. Розробка та впровадження таких систем безпосередньо сприяє досягненню Цілей сталого розвитку, зокрема ЦСР №9 «Індустріалізація, інновації та інфраструктура», №11 «Сталий розвиток міст і спільнот» та №13 «Боротьба зі зміною клімату», оскільки сприяє підвищенню рівня технологічної безпеки, сталості інфраструктури та зниженню ризиків екологічних катастроф.

Об'єкт розробки – об'єкт автоматичного керування аварійним пожежогасінням у приміщенні.

Предмет розробки – процес автоматичного реагування та апаратна реалізація системи на базі Arduino UNO.

Мета роботи – створення автономної автоматизованої системи керування

аварійним пожежогасінням, що реагує на перевищення порогових значень температури та диму з наступною активацією виконавчого пристрою.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз існуючих типів автоматичних систем пожежогасіння та виявити їх технічні обмеження;
- розробити структурні схеми системи для приміщень різної площі;
- обґрунтувати вибір сенсорних, керувальних і виконавчих елементів;
- реалізувати алгоритм логіки AND для спрацювання системи лише при підтвердженні декількох факторів загрози;
- створити програмне забезпечення для мікроконтролера Arduino;
- змоделювати систему у віртуальному середовищі Wokwi та перевірити її працездатність;
- оформити пояснювальну записку згідно з рекомендаціями [1-2] та вимогами ДСТУ 3008:2015 [3].

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз структури автоматизованих систем пожежогасіння

На сьогодні більшість систем пожежної сигналізації є автоматизованими. Це означає, що вони здатні самостійно реагувати на появу ознак пожежі та надсилати відповідні сигнали для оповіщення. Типова автоматизована система аварійного пожежогасіння включає кілька ключових компонентів.

Датчики (теплові, димові, комбіновані). Це "очі" системи. Вони слідкують за ситуацією у приміщенні й передають інформацію на контролер, у свою чергу теплові датчики реагують на підвищення температури до певного критичного рівня. Димові вловлюють появу диму у повітрі, що є одним з перших ознак займання. Комбіновані поєднують обидва принципи, що дозволяє зменшити кількість хибних спрацювань і підвищити надійність системи.

Контролер або ПЛК (програмований логічний контролер). Це "мозок" системи. Саме сюди надходять сигнали з датчиків. Контролер обробляє інформацію за заданим алгоритмом і вирішує, чи дійсно відбувається пожежа. Якщо пожежа підтверджується, контролер запускає відповідну реакцію – включає систему гасіння, сигналізує персоналу, надсилає повідомлення тощо. У сучасних системах найчастіше використовують ПЛК, оскільки він дозволяє гнучко налаштовувати логіку реагування, змінювати алгоритми без перепайки схем та легко інтегрується з іншими автоматизованими системами:

Виконавчі механізми (електроклапани, насоси, пускові пристрої) – це "руки" системи, які виконують команди від контролера:

- електроклапани відкривають доступ до вогнегасної речовини;
- насоси забезпечують потрібний тиск у системі, наприклад, для водяного чи пінного гасіння;

– пускові пристрої активують генератори аерозолу або випускають газ у приміщення. Усе це має спрацювати миттєво, чітко і без збоїв, адже від цього залежить ефективність пожежогасіння.

Система подачі вогнегасної речовини (вода, піна, гази, порошки). Цей компонент фактично виконує гасіння. Тип вогнегасної речовини залежить від об'єкта, що захищається. Вибір системи залежить від конкретних умов і ризиків на об'єкті.

Людсько-машинний інтерфейс (панелі керування, дисплеї) – це частина системи, з якою взаємодіє людина. Через панель можна побачити поточний стан системи, отримати повідомлення про тривогу, а в деяких випадках – вручну запустити чи зупинити гасіння. Сучасні інтерфейси мають зручну навігацію, візуалізацію на екранах, голосові сповіщення та навіть інтеграцію зі смартфонами через спеціальні застосунки.

Кожен із вищезазначених компонентів має свої конструктивні та функціональні особливості. Наприклад, температурні поділяються на лінійні, диференціальні, а також часто використовуються цифрові варіанти.

Датчики диму, в свою чергу, бувають іонізаційними та оптичними. Іонізаційні працюють за принципом зміни електропровідності повітря при наявності диму, а оптичні реагують на зміну характеристик світла, коли дим потрапляє у вимірювальну камеру.

Вони також можуть бути точковими (встановлюються на конкретних об'єктах), лінійними (монтуються по периметру) або адресними (ідентифікують точне місце загоряння). Вони виконують функції пожежної сигналізації, можуть працювати як у ручному, так і в автоматичному режимі (окрім спринклерних, які працюють лише автоматично).

За принципом роботи АСПГ класифікують на:

- інерційні системи – реагують на підвищення температури або появу диму;
- адресно-аналітичні системи – забезпечують точне позиціонування джерела пожежі;

– інтелектуальні системи – використовують алгоритми машинного навчання, моделі прогнозування розвитку пожежі, автоматичну адаптацію під навколишні умови.

Автоматичні системи пожежогасіння (АСПГ) характеризуються низкою технічних параметрів, які визначають їх ефективність та доцільність застосування в конкретних умовах. Одним із ключових показників є швидкість виявлення загрози, тобто час, що минає від моменту виникнення осередку загоряння до фіксації цієї події датчиком і подачі сигналу тривоги. Цей часовий проміжок має бути мінімальним, оскільки затримка у виявленні прямо впливає на масштаб збитків і ускладнює подальше реагування.

Не менш важливою є точність локалізації осередку пожежі. Здатність системи ідентифікувати конкретне місце інциденту, що дозволяє спрямувати ресурси пожежогасіння максимально прицільно. В умовах обмеженого простору, наприклад у невеликих комерційних приміщеннях або технічних нішах, ця характеристика визначає, наскільки швидко та ефективно буде усунено загрозу без шкоди для сусідніх зон.

Ще одним критичним параметром виступає час реакції системи, тобто період між спрацюванням відповідного датчика (температурного, димового або газового) та фактичним запуском механізму пожежогасіння. У випадках, коли система працює із затримкою, є ризик того, що пожежа встигне поширитися на більшу площу, і гасіння буде ускладнене або неефективне.

Окрім основної функції – безпосереднього гасіння пожежі, сучасні автоматичні системи здатні виконувати низку допоміжних дій, спрямованих на мінімізацію наслідків інциденту. Зокрема, вони можуть автоматично відключати електропостачання у зоні займання, що знижує ризик короткого замикання або повторного загоряння. Також можливий запуск систем димовидалення, які сприяють очищенню простору від токсичних продуктів горіння та забезпечують безпечну евакуацію людей. У випадку аварійного відключення основного освітлення система може активувати аварійні джерела світла. Окрім цього, більшість АСПГ підтримують передачу сигналу тривоги на пульт охорони або

безпосередньо до пожежної частини, що забезпечує оперативне інформування відповідальних служб і скорочує час реагування.

1.2 Типи систем пожежогасіння

Автоматизовані системи пожежогасіння (АСПГ) стали настільки важливими та поширеними саме завдяки своїй здатності оперативно реагувати на загрозу та автоматично ліквідувати займання або задимлення. Сьогодні існує кілька основних типів АСПГ, серед яких найпопулярніші:

- водяні;
- порошкові;
- пінні;
- газові;
- аерозольні.

Серед усіх типів систем пожежогасіння найбільше поширення отримали саме водяні системи (рис. 1.1). Це обумовлено тим, що вода є найбільш доступною та економічно вигідною речовиною, яку можна використовувати як засіб для гасіння пожеж. На відміну від інших вогнегасних агентів, її не потрібно виготовляти або імпортувати – достатньо забезпечити систему джерелом водопостачання, що значно спрощує як проектування, так і подальшу експлуатацію.

Крім того, вода володіє рядом важливих фізичних властивостей, які сприяють ефективному гасінню пожежі. Зокрема:

- висока теплоємність дозволяє поглинати значну кількість тепла, що виділяється під час горіння;
- висока питома теплота випаровування сприяє зниженню температури у вогнищі пожежі;
- інертність води по відношенню до більшості речовин забезпечує її безпечне використання в різноманітних середовищах;
- можливість подачі у вигляді струменя, туману або розпилу, що дозволяє адаптувати систему під конкретні умови приміщення.

Втім, незважаючи на ці переваги, вода має і певні недоліки, які обмежують її використання у ряді випадків. По-перше, вода є хорошим провідником електричного струму, а тому використання водяного пожежогасіння у приміщеннях з великою кількістю електротехнічного обладнання або серверів може призвести до короткого замикання та значних матеріальних збитків.



Рисунок 1.1 – Робота водної СПГ

Однією із альтернатив водяному пожежогасінню є порошкові системи, які базуються на подачі в зону пожежі спеціального дрібнодисперсного порошку, що виготовляється на основі мінеральних солей (рис. 1.2). Ці системи здатні дуже швидко пригнічувати полум'я, перешкоджаючи доступу кисню до горючої речовини. Особливо ефективними вони є при гасінні специфічних типів пожеж, наприклад, при загорянні лугових металів, електричного обладнання, або речовин, що не можна гасити водою.

Порошкові системи мають помітні переваги:

- вони не проводять струм, тому їх можна використовувати для гасіння пожеж на об'єктах з електронікою;
- не пошкоджують обладнання та матеріали, оскільки не викликають корозію та не спричиняють затоплення;

– здатні працювати у неопалюваних приміщеннях, оскільки не замерзають за низьких температур.

Водночас порошкові АСПГ мають і свої обмеження. По-перше, вони не рекомендуються для використання в громадських приміщеннях, з великою кількістю людей. Основна причина – небезпечний вплив порошкової хмари на дихальні шляхи, що може викликати подразнення або навіть отруєння. По-друге, порошок не проникає всередину матеріалів, що тліють або можуть самозайматися, наприклад, деревини, бавовни, паперу, що зберігаються у великих об'ємах.



Рисунок 1.2 – Робота порошкової СПГ

Пінне пожежогасіння вважається одним із найбільш ефективних способів боротьби з вогнем, особливо коли мова йде про великі об'єкти – автотехніка, залізничні цистерни, промислові установки тощо (рис. 1.3). Для гасіння використовується піна, якої потрібно набагато менше, але вона краще покриває поверхню й ефективно ізолює вогонь від доступу кисню.

Працює пінна система пожежогасіння приблизно так: після того як система виявляє пожежу (за допомогою датчиків диму, полум'я або температури), автоматично подається водний розчин із піноутворювачем, який через зрошувачі миттєво заповнює приміщення пінною масою. Це дозволяє максимально швидко локалізувати пожежу без залучення додаткових ресурсів чи персоналу.

Серед переваг пінних СПГ можна виділити:

- економне використання рідини;
- менше ризику завдати шкоди обладнанню чи товарам, ніж при гасінні водою;

- можливість використовувати в негерметичних приміщеннях;
- сучасні піни безпечні для людини й легко прибираються після гасіння.

Але є і мінуси:

- не підходять для холодних приміщень (піна на водній основі);
- не можна застосовувати для гасіння електроніки чи під напругою.



Рисунок 1.3 – Робота пінної СПГ

Газове пожежогасіння як технологія існує вже багато років, але до нього досі ставляться з обережністю – і власники приміщень, і керівники підприємств, і навіть проєктанти (рис. 1.4).

Газові системи пожежогасіння бувають двох основних типів:

- централізовані, які складаються з великих резервуарів з газом, встановлених у спеціальному приміщенні. Звідти газ по трубах може подаватися в кілька зон, які потрібно захистити;

– модульні, де кожен балон встановлюється безпосередньо в приміщенні, яке захищається. Це зручніше, коли треба охопити невелику площу.

Принцип роботи такий: система миттєво заповнює простір інертним газом, який не вступає у реакцію з матеріалами, але швидко знижує рівень кисню у повітрі (нижче 12%). Це робить подальше горіння неможливим.



Рисунок 1.4 – Зображення газової СПГ

Плюси газових систем:

- підходять для всіх основних класів пожеж;
- не пошкоджують обладнання, не потребують складного прибирання;
- швидкі й ефективні в гасінні;
- довговічні.

Мінуси газових систем:

- потрібна герметизація приміщення;
- складно використовувати в приміщеннях з великим об'ємом;
- небезпека високого тиску в резервуарах;
- висока вартість системи.

Сьогодні модульні газові системи використовуються все частіше, особливо там, де є дорога техніка, архіви чи мистецькі цінності. Попри ціну, ефективність їх гасіння виправдовує витрати.

Ще один цікавий тип – аерозольне пожежогасіння, яке працює за принципом «подібне лікується подібним» (рис. 1.5). Воно працює так, що при спрацюванні генераторів утворюється хмара з дрібних частинок аерозолі, які блокують горіння. Вони буквально “накривають” полум’я, знижують температуру й витісняють кисень. Вогнегасна речовина утворюється всередині самого генератора при горінні, а потім потужним струменем викидається у приміщення. Тобто сам процес утворення вогнегасної суміші вже частина гасіння.



Рисунок 1.5 – Зображення аерозольної СПГ

Аерозольні системи добре підходять для захисту маленьких ніш, шаф управління, щитових, відсіків транспорту (морського, залізничного, авто).

Принцип дії:

- пожежа починається – активуються генератори;
- генератор виділяє гарячі частинки та газову суміш;
- частинки швидше, ніж кисень, вступають у реакцію з горючими речовинами й “глушать” полум’я;
- аерозольна хмара ще деякий час зависає в повітрі, не даючи пожежі поновитись.

Переваги аерозольної системи:

- працює в широкому діапазоні температур (-60 °C до +60 °C);
- не потребує герметизації, як газові системи;
- не має корозійних елементів, зменшується обсяг техобслуговування.

Недоліки:

- одноразове використання;
- гарячі частинки можуть бути небезпечними при наближенні;
- після активації потрібне мокре прибирання.

1.3 Огляд існуючих автоматичних систем пожежої безпеки

На даний момент на рисунку існує багато різних систем для контролю пожежної безпеки, тож оглянемо найпоширеніші.

Система пожежної сигналізації Cerberus ECO виробництва Siemens належить до доступного сегмента обладнання для раннього виявлення загорянь. Вона створена на основі перевірених технологічних рішень компанії та забезпечує базовий рівень пожежної безпеки для захисту людей, матеріальних цінностей і стабільності операцій. Система орієнтована на застосування в компактних об'єктах – офісних приміщеннях, готелях, закладах торгівлі та житлових будівлях (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Система пожежної безпеки Siemens Cerberus ECO

Завдяки використанню сучасного протоколу передачі даних система забезпечує високу швидкість реакції та точність у виявленні осередків займання, а також стабільність передавання тривожних сигналів. До складу комплексу входять автоматичні пожежні сповіщувачі, панелі керування, програмні модулі, ручні

пристрої активації сигналу тривоги, контролери для настінного монтажу та блоки введення/виведення. Важливою функціональною перевагою Cerberus ECO є безперервний аналіз інформації з сенсорів, що дає змогу з високою достовірністю визначати місце займання та мінімізувати ймовірність хибних тривог.

Модульна архітектура «ПАРУС» забезпечує гнучкість у налаштуванні та дозволяє адаптувати систему до конкретних потреб будь-якого об'єкта – від малих до великих підприємств (рис. 1.7). В ціновому сегменті це більш доступний варіант, проте може поступатися за функціональністю та масштабованістю. САПС «ПАРУС» хоч і дешевша, але теж передбачає системне проектування, що не завжди під силу малому бізнесу.



Рисунок 1.7 – Система адресної пожежної сигналізації ПАРУС

Може передавати тривожні сигнали як на централізований пульт спостереження, так і керівництву підприємства або іншим відповідальним особам. Система забезпечує виявлення пожежних факторів (дим, температура) у різних типах приміщень, включно з тими, де можливе утворення вибухонебезпечних сумішей. Функціонал системи включає прийом та обробку сигналів, активацію звукових і візуальних оповіщувачів, керування системами пожежогасіння, індикацію зон загоряння.

Система пожежної безпеки Honeywell HS-81 – це сучасне рішення, що відноситься до високого цінового класу, яке виконує одразу кілька важливих

функцій: виявлення пожежі, оповіщення та запуск систем гасіння (рис. 1.8). Серед основних переваг Honeywell HS-81 можна виділити поєднання в одній системі функцій виявлення пожежі та газу, можливість логічного керування, підтримку різних типів оповіщення – від світлових до звукових сигналів – і здатність миттєво реагувати на аварійні ситуації. Використовується як у виробничих зонах, так і на робочих місцях, дозволяючи виявляти дим, газ або полум'я та миттєво реагувати, активуючи необхідне обладнання.



Рисунок 1.8 – Система пожежної безпеки

Виходячи з цього можемо зробити висновок, що сучасні системи пожежної безпеки здебільшого орієнтовані на середні та великі підприємства, потребують значних фінансових витрат на встановлення та обслуговування, а також складні в інтеграції. Водночас малий бізнес, який також підпадає під дію вимог пожежної безпеки, залишається обмеженим у виборі ефективних, недорогих і зручних у використанні рішень. Саме тому актуальним є завдання розробити модульну автоматизовану систему пожежної безпеки, яка б відповідала потребам малого підприємства – була проста налаштуванні та масштабуванні, забезпечувала виявлення пожежі на ранніх етапах та могла працювати з базовими датчиками.

2 ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

2.1 Проектування системи пожежогасіння

В умовах стрімкого розвитку малого бізнесу, зокрема у сферах громадського харчування (кав'ярні, фаст-фуди), роздрібною торгівлі (кіоски, невеликі магазини) та сфери послуг, зростає потреба у доступних і простих рішеннях для забезпечення пожежної безпеки. Наявні на ринку системи здебільшого орієнтовані на великі об'єкти, мають високу вартість і складні вимоги до встановлення, що робить їх малопридатними для невеликих підприємств.

Планується розробка бюджетної, компактною та ефективною автоматизованою системи управління аварійним пожежогасінням, яка відповідатиме потребам малого бізнесу та дозволить мінімізувати витрати на впровадження протипожежної безпеки.

Особливу актуальність така система матиме в сучасних українських реаліях, коли через нестабільну енергетичну ситуацію регулярно відбуваються відключення електроенергії. Подібні перебої створюють додаткові ризики виникнення пожеж, зокрема через короткі замикання або несправності електричних приладів, які залишаються увімкненими після відновлення подачі напруги. Тому під час розроблення системи передбачається врахування можливості її автономної роботи навіть за відсутності основного джерела живлення.

Передбачено, що система зможе працювати при перебоях з електропостачанням за рахунок резервного живлення та енергоощадної роботи. Це дозволить забезпечити її працездатність у критичних ситуаціях, коли існує найбільший ризик виникнення загорянь.

Проектуватиметься алгоритм, який забезпечить своєчасне виявлення небезпечних факторів та автоматичне реагування системи без участі людини.

Система проектується таким чином, щоб її можна було легко інтегрувати у приміщення з обмеженим простором. Це дозволить застосовувати її як у МАФах,

так і в інших невеликих комерційних об'єктах.

Одним із пріоритетів розроблення є досягнення максимальної автоматизації процесів виявлення та реагування на пожежі, що дасть змогу знизити ризики, пов'язані з людським фактором, і забезпечити оперативну локалізацію загоряння.

Таким чином, в рамках цієї роботи планується розробити систему, яка дозволить малим підприємствам забезпечити базовий рівень пожежної безпеки за мінімальних фінансових витрат, враховуючи сучасні виклики, пов'язані з нестабільною енергетичною ситуацією та обмеженими ресурсами малого бізнесу.

2.2 Розробка структурної схеми системи

У процесі розроблення системи автоматичного керування функціонуванням аварійного пожежогасіння важливим етапом є створення структурної схеми, яка дозволяє не лише відобразити логіку взаємодії всіх елементів системи, а й забезпечити її адаптацію до різних типів об'єктів, враховуючи їх площу, планування та особливості експлуатації.

Для приміщень площею до 10 м², таких як невеликі торговельні кіоски або кав'ярні формату «на виніс», передбачається найпростіша конфігурація системи, орієнтована на виконання базових функцій пожежної безпеки без надмірного ускладнення конструкції. В основі такої системи лежить єдиний датчик диму, що встановлюється у центральній частині приміщення для максимально ефективного виявлення задимлення незалежно від його джерела. Для контролю можливого перегріву електричних приладів або прихованого розвитку займання додатково встановлюється температурний датчик. Обидва сенсори підключаються до центрального контролера, який аналізує отримані дані та, у разі виявлення загрози, надсилає сигнал на керування системою сповіщення та пожежогасіння (рис. 2.1).

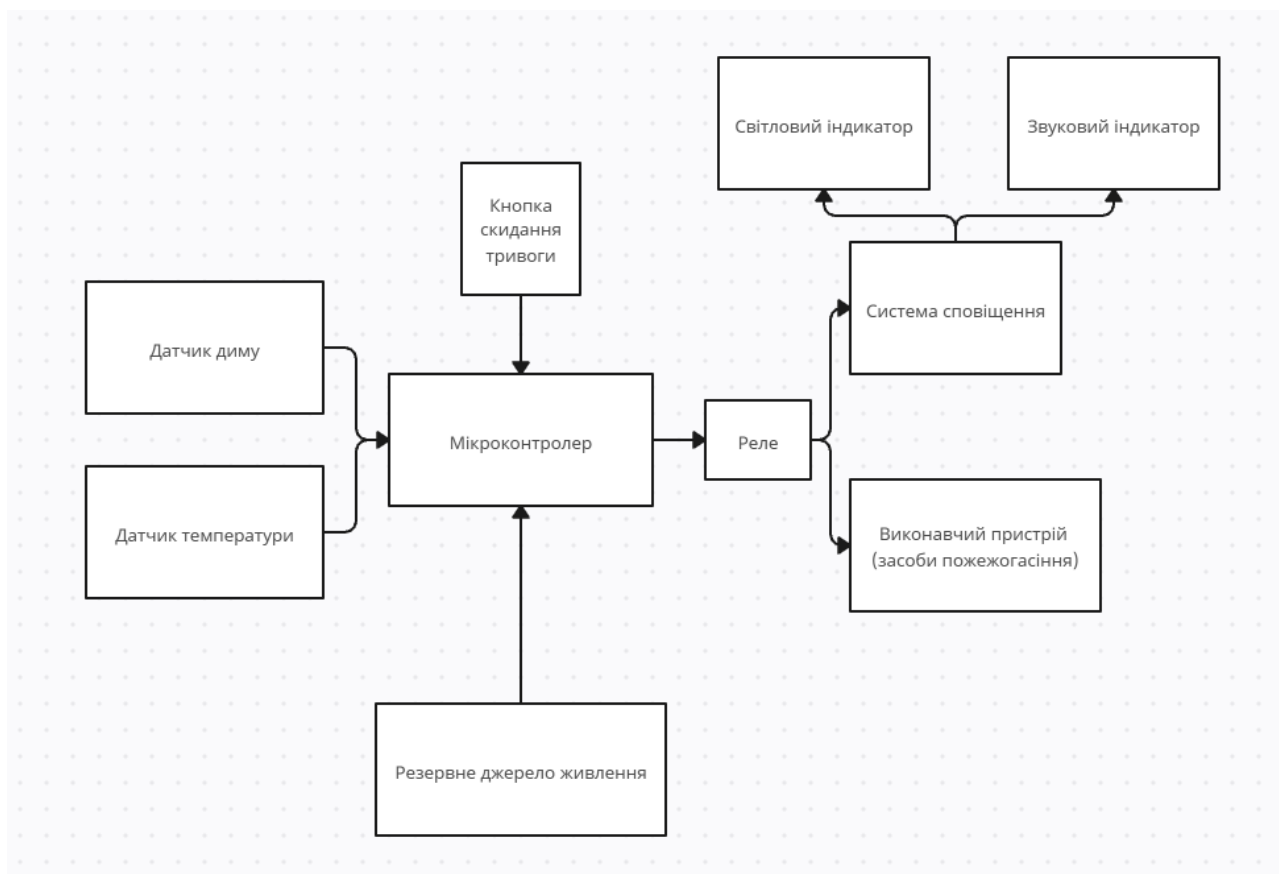


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи автоматичного пожежогасіння для приміщення площею до 10 м²

У структурі системи обов'язково передбачається використання модуля реле, який виконує роль проміжної ланки між контролером і виконавчим пристроєм. Це пояснюється тим, що мікроконтролер не здатен комутувати струми, необхідні для роботи сирени або модуля пожежогасіння. Контролер лише подає логічний сигнал на реле, а вже реле замикає силовий ланцюг живлення для виконавчого пристрою, яким у цій конфігурації є аерозольний модуль пожежогасіння одноразової дії типу ГВА або аналог, який підтримує електричну активацію низьковольтним імпульсом (5–12 В) і призначений для захисту малих приміщень.

Таке рішення є стандартним у схемах керування малопотужними мікроконтролерами.

У схемі також передбачено елемент ручного керування – кнопку скидання тривоги, яка підключається до одного з цифрових входів мікроконтролера. У разі активації системи тривоги користувач має можливість вручну перевести систему в

нормальний режим, натиснувши кнопку. Це дозволяє припинити роботу сирени, індикаторів та виконавчих пристроїв без потреби у відключенні живлення чи перезапуску системи.

Усі компоненти, включно з контролером, датчиками, реле та виконавчими елементами, мають бути підключені до джерела резервного живлення. Це дозволить системі зберігати працездатність навіть у разі зникнення електропостачання, що критично важливо для виявлення загрози у момент, коли живлення відсутнє. З огляду на простоту та доступність, резервне живлення реалізується на основі Power Bank або акумуляторної батареї зі стабілізатором напруги.

Для приміщень площею до 30 м², таких як кав'ярні зі зоною приготування продукції або невеликі заклади громадського харчування, система потребує розширення функціональних можливостей. Це обумовлено як збільшенням площі приміщення, так і наявністю окремих ділянок із підвищеною пожежною небезпекою. У такій конфігурації встановлюються два датчики диму, розташовані у різних частинах приміщення, що дозволяє підвищити точність виявлення задимлення незалежно від місця його виникнення. Додатково встановлюються два температурні датчики: один контролює загальний температурний режим, інший – безпосередньо в зоні підвищеного ризику, наприклад, біля кухонного обладнання або в технічній ніші. Всі ці сенсори взаємодіють з центральним контролером, який забезпечує аналіз даних і прийняття рішень відповідно до запрограмованих порогів тривожних значень (рис. 2.2).

Попри охоплення більшої площі, система зберігає компактну архітектуру: використовується лише один модуль реле, який керується контролером. При надходженні сигналу тривоги мікроконтролер подає логічний сигнал на реле, що замикає силовий ланцюг між окремим джерелом живлення 12 В та виконавчим пристроєм пожежогасіння. Таким чином, модуль пожежогасіння отримує необхідну енергію не від самого контролера, а через комутацію зовнішнього джерела. Це дозволяє уникнути перевантаження контролера і забезпечує коректну роботу виконавчих пристроїв із підвищеним енергоспоживанням. Паралельно

Arduino активує світловий та звуковий індикатори, які підключені до його цифрових виходів і сигналізують про спрацювання системи. Такий підхід дозволяє одночасно забезпечити тривожну індикацію та запуск пожежогасіння з мінімальною кількістю апаратних засобів.

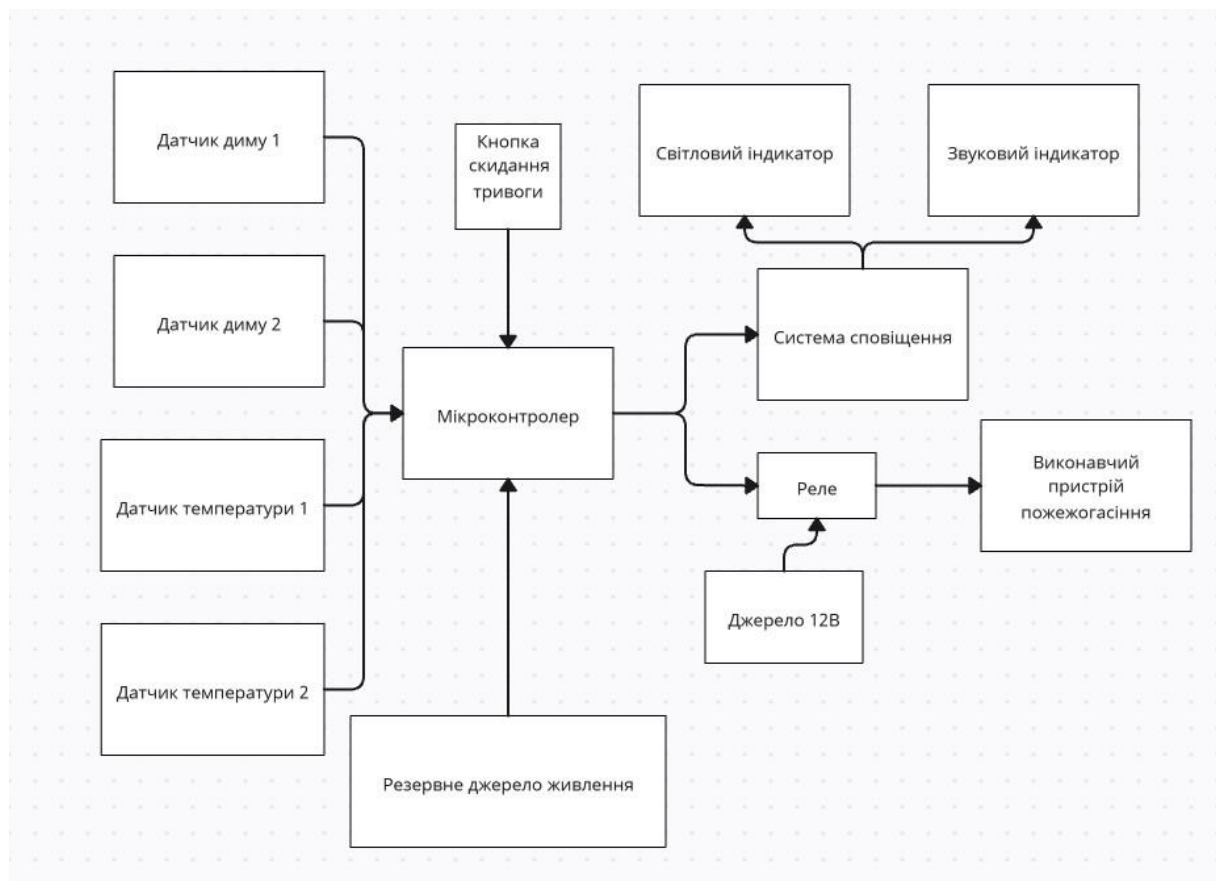


Рисунок 2.2 – Структурна схема системи автоматичного пожежогасіння для приміщення площею до 30 м²

У структурі системи в цій конфігурації також залишається кнопка ручного скидання тривоги, яка підключена до контролера і дозволяє оператору зупинити активний стан тривоги після усунення загрози. Основним виконавчим елементом пожежогасіння виступає аерозольний модуль, який підтримує електричну активацію імпульсом 12 В і призначений для розпилення складу, що хімічно припиняє процес горіння в межах малих приміщень.

Резервне живлення в цій конфігурації має більшу ємність і передбачає використання акумуляторних батарей або зовнішнього джерела типу Power Bank.

На структурній схемі показано, що резервне живлення підключено безпосередньо до центрального контролера, через який живляться також підключені до нього датчики. Це спрощує схему й знижує кількість ліній живлення. Такий підхід є допустимим для систем з єдиним каналом спрацювання та невисоким сумарним енергоспоживанням. Він дозволяє системі зберігати повну працездатність при зникненні зовнішнього живлення, щонайменше протягом однієї години в аварійному режимі.

У випадку приміщень, які мають окремі технічні зони, наприклад, електрощитові або складські приміщення, структурна схема системи набуває ще більшої складності. Вона передбачає створення двох окремих зон контролю: основної зони, де знаходиться більшість персоналу і відвідувачів, та технічної зони, яка характеризується підвищеними ризиками виникнення пожеж через наявність електричних розподільчих пристроїв або іншого технологічного обладнання. Для такої конфігурації застосовується три датчики диму: два для основного приміщення і один окремо для електрощитової. Температурний контроль здійснюється трьома датчиками, з яких один має підвищену термостійкість і встановлюється в технічній зоні (рис. 2.3).

Логіка роботи системи побудована таким чином, що при виявленні загрози в будь-якій із зон контролер приймає рішення про активацію відповідних виконавчих пристроїв, кожен з яких обслуговує конкретну зону. Наприклад, при пожежі в електрощитовій відбувається запуск системи пожежогасіння цієї зони, розраховане на меншу площу.

У кожній із зон передбачається можливість примусового скидання тривоги – за допомогою кнопки, підключеної до цифрового входу контролера. Такий підхід дозволяє зберегти уніфіковану логіку завершення тривожного стану в усіх типах приміщень.

Як і в попередніх варіантах, керування пожежогасінням здійснюється через реле, що активує відповідний аерозольний модуль, закріплений у відповідній зоні. Для таких зон використовуються модулі, що підтримують електричну активацію в діапазоні 5–12 В і призначені для локального застосування в технічних просторах.

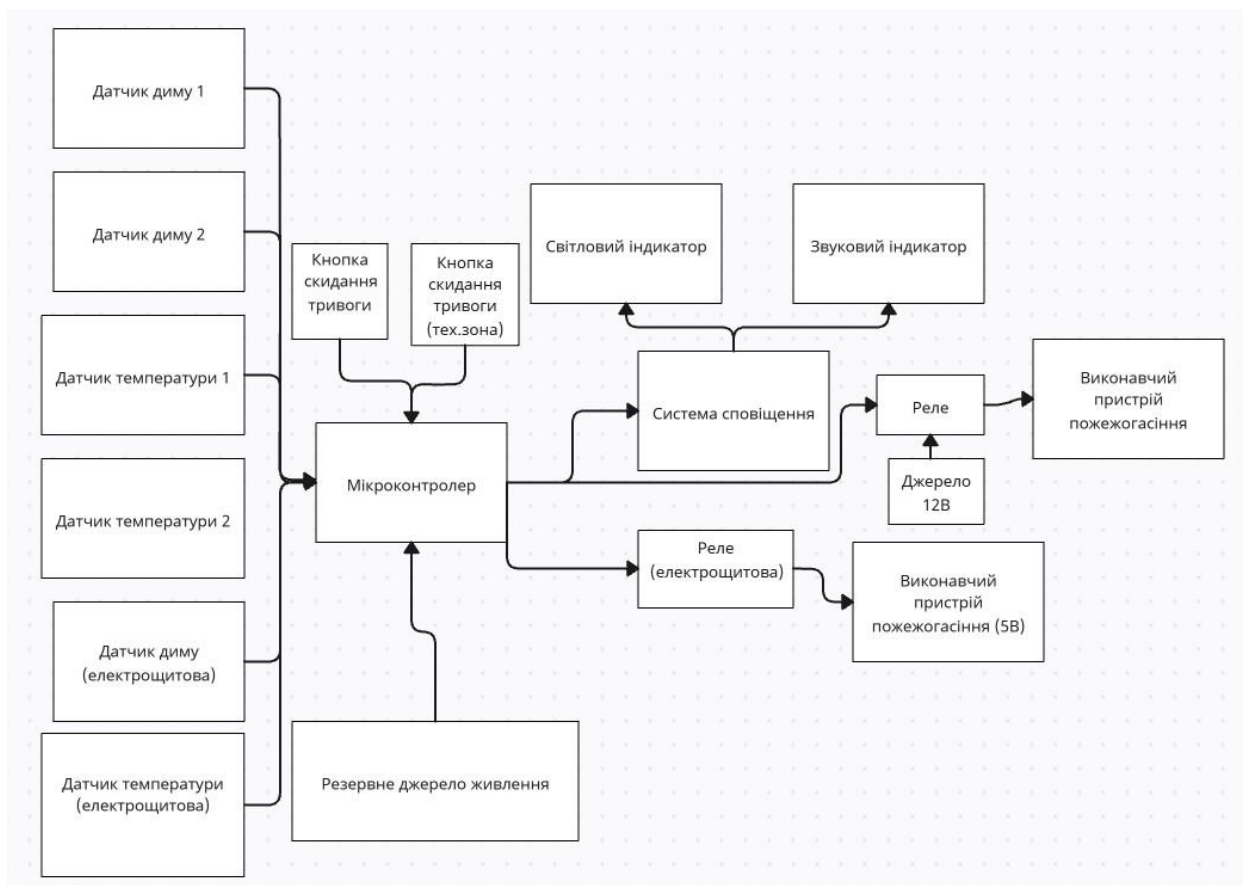


Рисунок 2.3 – Структурна схема системи автоматичного пожежогасіння для приміщення з технічною зоною (електрощитова)

З огляду на те, що кожна зона має окремі виконавчі пристрої, у цій конфігурації використання лише одного реле стає неможливим. Необхідно реалізувати два незалежні канали керування: один – для запуску пожежогасіння в основному приміщенні (через модуль на 12 В), другий – для активації виконавчого пристрою пожежогасіння в електрощитовій (через окремий модуль на 5 В). Кожен канал реалізується через окреме реле, підключене до цифрового виходу контролера. Це дозволяє контролеру вибірково активувати ті виконавчі елементи, які відповідають конкретному джерелу загрози. Усі реле підключаються до контролера як незалежні вихідні канали з різною логікою активації, визначеною в прошивці пристрою.

Щодо живлення, у такій багатозональній системі з декількома виконавчими пристроями резервне джерело має підключатися принаймні до центрального

контролера. Згідно зі структурною схемою, контролер забезпечує логічне керування, тоді як живлення реле та виконавчих пристроїв надходить із окремих джерел – 5 В для індикаторів та реле, 12 В для силового виконавчого пристрою пожежогасіння. Така організація дозволяє не ускладнювати систему зайвими лініями живлення, зберігаючи при цьому її автономність. У реальному впровадженні також бажано врахувати граничне енергоспоживання реле та виконавчих механізмів і, за потреби, реалізувати буферне підсилення живлення або виділені стабілізовані гілки для силових ланцюгів.

Резервне живлення для такої системи повинно бути достатньо потужним, щоб забезпечувати безперервну роботу контролера, датчиків, реле, системи сповіщення та всіх виконавчих пристроїв протягом двох і більше годин. Це критично важливо для гарантування повної працездатності системи у випадках тривалих перебоїв з електропостачанням.

2.3 Вибір компонентної бази

Для реалізації проєкту розглядалися кілька варіантів контролерів, серед яких найбільш популярними є Arduino UNO R3, NodeMCU на базі ESP8266 та ESP32. Контролер Arduino UNO R3 було обрано як базову платформу завдяки його простоті у використанні, доступній ціні та широкому розповсюдженню відповідних бібліотек для роботи з підключенням сенсорів та виконавчих пристроїв (рис. 2.4).

Хоча цей контролер має обмежені обчислювальні ресурси та порівняно невелику кількість портів введення/виведення, для реалізації системи невеликої складності цих можливостей достатньо. Альтернативні варіанти, такі як NodeMCU та ESP32, мають значно більші технічні можливості, включаючи вбудовані модулі Wi-Fi і більшу кількість цифрових входів/виходів, однак їх застосування у даному проєкті є недоцільним через підвищену вартість та надлишкову функціональність, яка не буде використана у системі, що орієнтована на роботу в локальному

середовищі без необхідності підключення до мережі Інтернет. Інформація з технічними характеристиками Arduino UNO R3 занесені до таблиці 2.1.

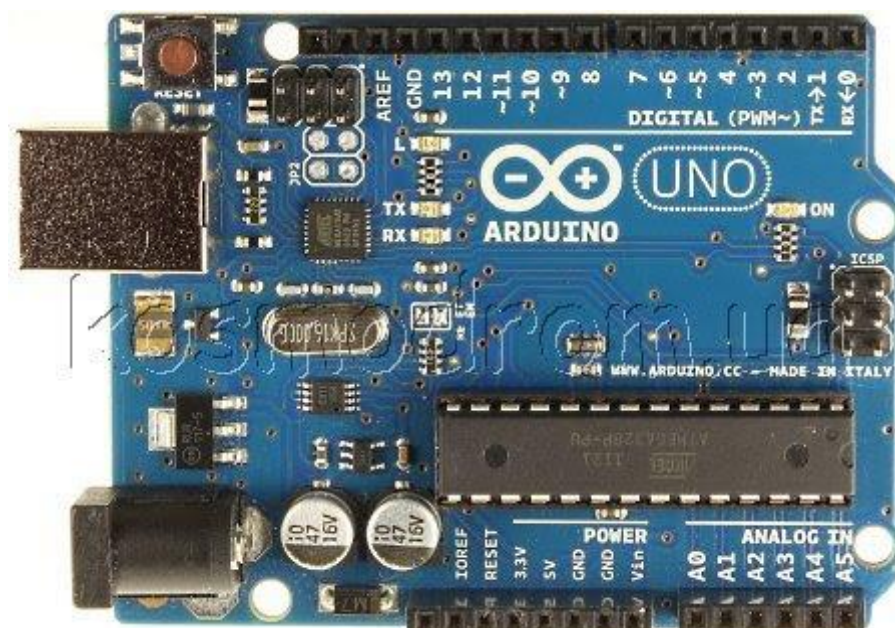


Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд мікроконтролера Arduino UNO R3

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики Arduino UNO R3

Параметр	Значення
Мікроконтролер	ATmega328P
Робоча напруга	5 В
Вхідна напруга (рекомендована)	7–12 В
Цифрові входи/виходи	14 (6 підтримують ШІМ)
Аналогові входи	6
Частота тактування	16 МГц
Флеш-пам'ять	32 КБ
ОЗП	2 КБ
EEPROM	1 КБ
Інтерфейси	UART, I2C, SPI

При виборі датчиків для виявлення диму було проаналізовано декілька моделей, серед яких найбільш доцільним виявився MQ-2 (рис. 2.5). Цей сенсор має

широке розповсюдження, відносно низьку вартість та забезпечує стабільне виявлення диму, а також деяких горючих газів, що підвищує універсальність його застосування в системі. Водночас слід зазначити, що MQ-2 має певну інерційність спрацювання та є чутливим до концентрації парів спиртів і сильних запахів, що може створювати ймовірність хибних спрацювань у приміщеннях з активним використанням ароматизованих речовин або кухонних процесів. Однак за умови належного калібрування та правильного розташування датчиків ці недоліки можуть бути мінімізовані. Альтернативні моделі, такі як MQ-135 або MQ-7, є більш спеціалізованими і мають вузький спектр виявлення, тому їх застосування для універсальної системи пожежної безпеки є менш виправданим.

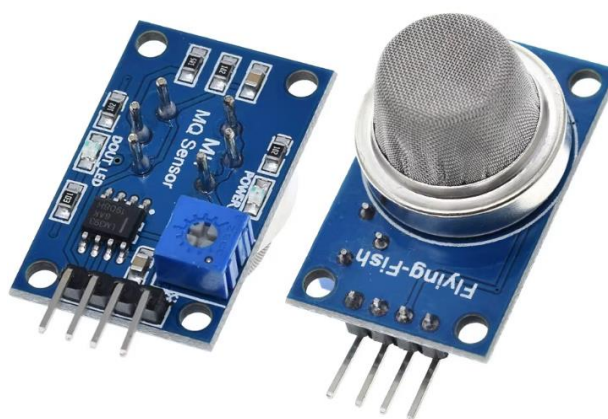


Рисунок 2.5 – Газовий сенсор MQ-2, варіант для модулів Arduino

Температурні датчики в системі обрано на базі моделі DS18B20 (рис. 2.6), яка має цифровий інтерфейс 1-Wire, що дозволяє зручно підключати декілька датчиків на одній лінії зв'язку. Цей сенсор характеризується високою точністю вимірювання температури в межах $\pm 0,5$ °C і широким робочим діапазоном температур від -55 °C до +125 °C. Вартість даного датчика залишається доступною, а його цифрова передача даних забезпечує високу стійкість до електромагнітних завад, що є особливо актуальним для застосування в системах, де можливе виникнення сильних електромагнітних полів. Альтернативні аналогові датчики температури, такі як LM35 або термістори, поступаються DS18B20 у точності вимірювання,

надійності та вимогах до стабільності сигналу, що унеможлиблює їх ефективне використання без складних схем обробки аналогових даних.

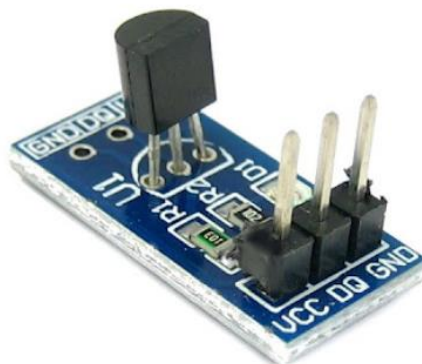


Рисунок 2.6 – Цифровий температурний сенсор DS18B20

Система сповіщення у проєкті представлена простими засобами індикації – світловими індикаторами у вигляді світлодіодних сповіщувачів та звуковими сигналами, реалізованими за допомогою п'єзоелектричних сирен (рис. 2.7). Така конфігурація є достатньою для невеликих приміщень і дозволяє візуально та акустично сповістити персонал про виникнення надзвичайної ситуації. При необхідності система може бути розширена шляхом підключення зовнішніх інформаційних табло або більш потужних сирен, однак для забезпечення базового рівня безпеки цього не потребується.



Рисунок 2.7 – П'єзоелектрична сирена для звукового сповіщення

Для комутації виконавчих пристроїв використовується релейний модуль на 1 або 2 канали, що дозволяє безпечно перемикає навантаження, яке не може бути безпосередньо підключене до мікроконтролера через перевищення допустимого струму. Реле виконує функцію проміжної ланки між логікою керування і фізичним виконанням дії – подачею живлення на модуль пожежогасіння. Модулі реле обрано завдяки їхній простоті, універсальності та сумісності з Arduino.

У системі використовується аерозольний модуль пожежогасіння як виконавчий пристрій, що фізично здійснює гасіння вогню. Обраний тип – пристрій, який активується при подачі постійної напруги 12 В, що сумісно з низьковольтним керуванням через релейний модуль Arduino. До можливих моделей, що можуть бути використані, належить вогнегасний модуль типу ГВА FS-A-90 або інші аналоги, призначені для локального гасіння у приміщеннях площею до 30 м². Цей модуль не потребує високого тиску чи складної інфраструктури – лише електричної активації. Принцип роботи полягає у вивільненні аерозолі, який хімічно зв'язує активні радикали полум'я, що припиняє процес горіння. Пристрій монтується у верхній частині приміщення відповідно до технічної документації з урахуванням зон теплового впливу та напрямку викиду аерозолі.

Для живлення модуля ГВА FS-A-90 використовується окреме джерело постійного струму з напругою 12 В, яке забезпечує струм не менше 1 А. Це джерело комутується через реле, кероване контролером Arduino, який виконує лише логічну функцію активації.

У питанні резервного живлення проєкт передбачає застосування компактних акумуляторних батарей або блоків типу Power Bank зі стабілізаторами напруги, що дозволяють підтримувати роботу системи у разі відключення основного живлення. Обрані рішення забезпечують автономну роботу системи протягом від 30 хвилин до 2 годин, залежно від конкретної конфігурації обладнання. Для технічних приміщень, де підвищений ризик тривалого відключення електроенергії, передбачається застосування більш ємних джерел живлення або використання спеціалізованих джерел безперебійного живлення.

Для реалізації можливості ручного скасування тривоги в системі передбачено

використання звичайної тактової кнопки типу “Push Button”, яка підключається до одного з цифрових входів Arduino. Натискання цієї кнопки дозволяє користувачеві явно перевести систему з тривожного стану в нормальний режим, зупинивши подальше спрацювання сирени та інших виконавчих пристроїв. Такий елемент є простим, недорогим і широко доступним на ринку, а його реалізація не потребує складного програмного забезпечення.

2.4 Опис алгоритму роботи системи

Алгоритм функціонування системи автоматичного керування пожежогасінням побудовано за принципом безперервного моніторингу та миттєвого реагування на загрозу, з урахуванням обмеженої обчислювальної потужності й простоти реалізації на базі мікроконтролера Arduino. Логіка роботи представлена у вигляді блок-схеми (рис. 2.8), де послідовність дій побудована на основі основного циклу контролю та обробки подій.

Після запуску система переходить у режим очікування, у якому постійно опитує два типи датчиків: газовий сенсор MQ-2, призначений для виявлення диму, і цифровий температурний датчик DS18B20. Опитування здійснюється періодично в основному циклі програми `loop()`, який Arduino виконує безперервно.

Після кожного циклу зчитування система порівнює отримані значення з фіксованими порогоми, заздалегідь встановленими для кожного типу сенсора. Якщо жодне з отриманих значень не перевищує своїх критичних меж, система повертається до наступного циклу опитування без будь-яких дій.

У випадку, якщо підвищена концентрація диму та температура, що вказує на початок займання, система переходить у тривожний стан. Контролер подає сигнал на релейний модуль. Реле замикає силовий ланцюг, з'єднуючи джерело 12 В із модулем ГВА FS-A-90, що призводить до його активації. Світлові та звукові індикатори активуються окремо через лінію 5 В.

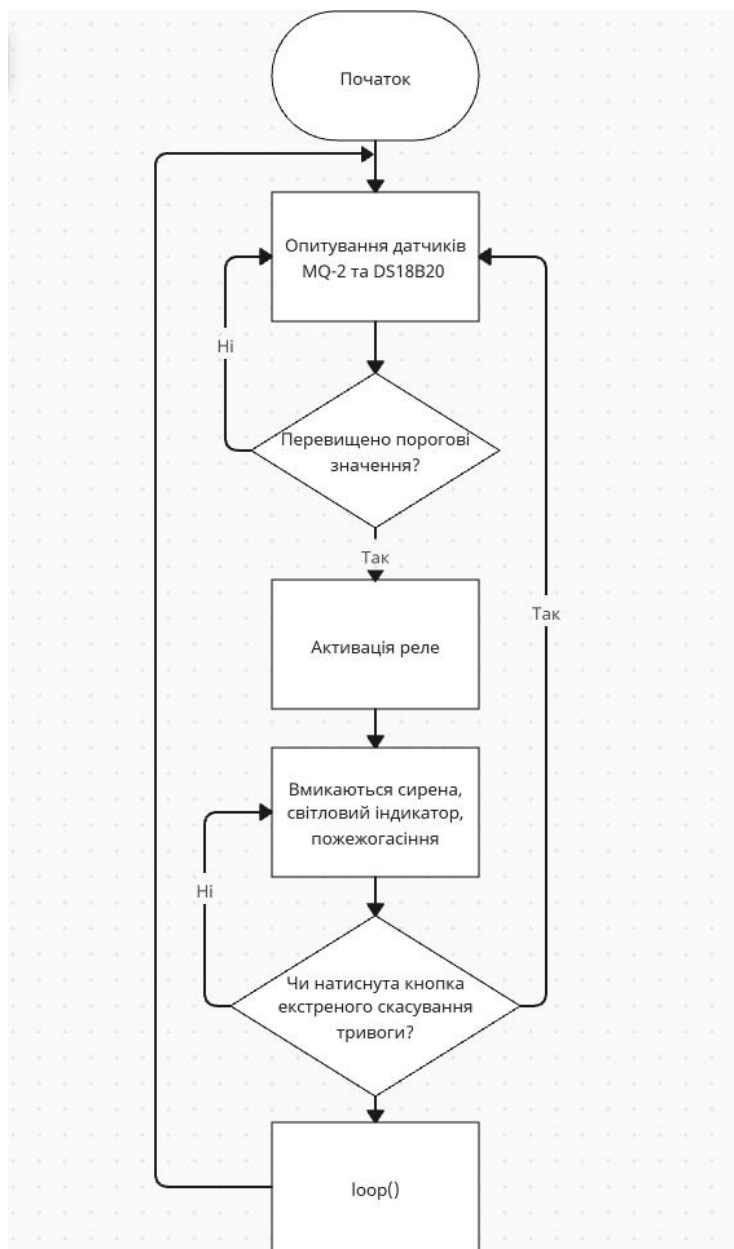


Рисунок 2.8 – Блок-схема алгоритму роботи системи автоматичного пожежогасіння

Тривожний стан підтримується до моменту його явного скасування. У системі передбачено один спосіб виходу з тривожного режиму – натискання кнопки екстреного скасування тривоги, підключеної до одного з цифрових входів мікроконтролера. У разі натискання цієї кнопки система переходить у безпечний режим і повертається до стандартного циклу опитування сенсорів.

Якщо ж кнопка не натиснута, а умови загрози залишаються активними, наприклад, через залишковий дим або невиконане гасіння, система зберігає

активний стан сирени та індикатора. Повторна активація реле в цьому режимі не відбувається – щоб уникнути надмірного спрацювання, система влаштована так, щоб реагувати одноразово на кожну підтвержену тривогу й очікувати явного сигналу на скидання.

2.5 Опис принципу пожежогасіння

У рамках запропонованої системи реалізується автономне пожежогасіння з використанням компактного аерозольного засобу, керованого електричним сигналом через релейний модуль. Обраний підхід базується на принципі максимальної простоти й надійності реалізації, орієнтованому на малий комерційний об'єкт із обмеженим бюджетом та площею. Принцип роботи полягає в наступному. Після виявлення загрози – перевищення встановленого порогового значення для обох сенсорів (димового MQ-2 та температурного DS18B20) – система подає логічний сигнал з мікроконтролера на релейний модуль. Реле, в свою чергу, комутує живлення на виконавчий пристрій – в даному випадку, модуль пожежогасіння.

Це може бути електрозапалюваний аерозольний вогнегасний генератор типу ГВА FS-A-90 (рис. 2.9), що активується при подачі напруги 12 В через кероване реле системи на базі Arduino. Після активації вогнегасний генератор випускає в захищений простір струмінь аерозолі, який містить речовини, що хімічно зв'язують активні вільні радикали горіння. Це викликає швидке гальмування реакцій окиснення, тобто фізичне припинення горіння. На відміну від систем водяного чи пінного типу, аерозоль не завдає суттєвих пошкоджень обладнанню, не призводить до коротких замикань і придатний для використання в електронних або харчових зонах.



Рисунок 2.9 – Зовнішній вигляд електрозапалюваного аерозольного модуля пожежогасіння типу ГВА FS-A-90

Тривалість дії аерозольного засобу залежить від типу модуля, але для FS-A-90 становить близько 15–25 секунд повного вивільнення речовини. Після активації пристрій, як правило, потребує заміни (одноразова дія). У модулі реалізований зворотний контакт типу NC, що дозволяє контролювати факт його спрацювання. Проте сама система пожежогасіння не оцінює, чи було фактично загашено полум'я. Завершення її дії може бути лише зупинено вручну, через кнопку скидання тривоги, або після вичерпання ресурсу самого засобу.

З огляду на простоту реалізації, компактність і автономність, такий принцип пожежогасіння є оптимальним для малих площ. У даній роботі система реалізована з резервним живленням, тому спрацювання виконавчого модуля можливе навіть за повної відсутності напруги в мережі, що критично у випадках коротких замикань або пожеж, спричинених електроприладами.

2.6 Дослідження стійкості та якості лінійних систем автоматичного управління

Стійкість є однією з ключових властивостей САУ і означає здатність системи повернутися до рівноважного стану після дії збурення. В умовах аварійного

пожежогасіння забезпечення стійкої реакції системи на сигнал тривоги критично важливе для запобігання збоїв або неконтрольованого спрацювання.

Рівняння характеристичне для лінійної неперервної САУ в загальному вигляді має вигляд:

$$s^n + a_{n-1}s^{n-1} + a_{n-2}s^{n-2} + \dots + a_1s + a_0,$$

де s – оператор Лапласа;

a – задані коефіцієнти;

n – порядок системи.

Коефіцієнти цього рівняння визначають динамічні властивості системи, зокрема інерційність, демпфування, жорсткість і реакцію на зовнішні впливи. Щоб така система була стійкою, всі корені характеристичного рівняння повинні мати від'ємні дійсні частини, тобто знаходитися у лівій півплощині комплексної площини. Однак безпосереднє знаходження коренів для поліномів вищого порядку є обчислювально складним, тому доцільно застосовувати алгебраїчні критерії стійкості, зокрема критерій Гурвіца, який дозволяє оцінити стійкість на основі самих коефіцієнтів, без обчислення коренів.

Одним із базових методів оцінки стійкості є алгебраїчний критерій Гурвіца. Для його застосування необхідно спочатку сформулювати так званий головний визначник Гурвіца. Він конструюється на основі коефіцієнтів характеристичного рівняння, які розміщують на головній діагоналі у порядку зростання їх індексів – від a_1 до a_n . Під час побудови кожного наступного рядка елементи розміщуються зі зсувом: значення з меншими індексами у напрямку вниз зміщуються ліворуч, а відсутні коефіцієнти замінюються нулями:

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_n \end{vmatrix},$$

Для перевірки стійкості розраховують послідовність головних мінорів цієї матриці – починаючи з Δ_1 до Δ_2 . Вони будуються як визначники підматриць відповідного порядку:

$$\begin{aligned}\Delta_1 &= a_1, \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}, \\ \Delta_3 &= \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}.\end{aligned}$$

З формул критерію Гурвіца випливає, що для системи третього порядку, крім додатності коефіцієнтів, повинні виконуватись умови:

$$\begin{aligned}a_0 &> 0, \\ \Delta_1 &= a_1 > 0, \\ \Delta_2 &= a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0, \\ \Delta_3 &= a_3 \Delta_2 > 0.\end{aligned}$$

Для умовного моделювання розглянемо систему пожежогасіння, яка включає логіку прийняття рішень, сенсори та виконавчі елементи, як САУ четвертого порядку.

Візьмемо нормоване характеристичне рівняння наступного вигляду:

$$P(s) = s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0.$$

Для визначення коефіцієнтів полінома припустимо, що:

$$\begin{aligned}a_3 &= 7, \\ a_2 &= 6,\end{aligned}$$

$$a_1 = 5,$$

$$a_0 = 2.$$

Отримуємо рівняння:

$$s^4 + 7s^3 + 6s^2 + 5s + 2 = 0.$$

Для перевірки стійкості використовуємо алгебраїчний критерій Гурвіца, згідно з яким необхідно побудувати відповідну матрицю і послідовно обчислити головні мінори. Якщо всі мінори додатні – система стійка:

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 7 & 5 & 0 & 0 \\ 1 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 7 & 5 & 0 \\ 0 & 1 & 6 & 2 \end{vmatrix}.$$

Обчислюємо мінори:

$$\Delta_1 = 7 > 0,$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 7 & 5 \\ 1 & 6 \end{vmatrix} = 42 - 5 = 37 > 0,$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 7 & 5 & 0 \\ 1 & 6 & 2 \\ 0 & 7 & 5 \end{vmatrix} = 112 - 25 = 87 > 0,$$

$$\Delta_4 = \begin{vmatrix} 7 & 5 & 0 & 0 \\ 3 & 6 & 2 & 0 \\ 0 & 7 & 5 & 0 \\ 1 & 0 & 6 & 2 \end{vmatrix} = 224 - 50 = 174 > 0.$$

Всі мінори додатні тож за критерієм Гурвіца система вважається стійкою.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

3.1 Схема підключення елементів на платі

У процесі реалізації системи раннього виявлення пожежі було створено макет проєкту в середовищі симуляції Wokwi. Основна перевага цього інструменту – можливість попередньо протестувати всі елементи системи без використання реального обладнання. Разом з тим, віртуальна побудова має певні обмеження: неможливо змодельовати фізичні характеристики навколишнього середовища, наприклад, справжній дим або тепло, тож деякі значення доводиться задавати вручну або орієнтуватися на умовні рівні спрацювання. Також Wokwi не підтримує фізичне реле у повній мірі: зокрема, неможливо підключити до нього зовнішні пристрої (як у реальності через контакти NC/NO/COM). У симуляції реле лише отримує логічну команду на вхід IN, але без перемикання навантаження. Тому в Wokwi його роль умовна, і реальні ефекти спрацювання тут замінені прямими з'єднаннями до Arduino.

Окрім цього, віртуальне середовище не враховує фактичних характеристик живлення. У реальній системі живлення Arduino, сенсорів та виконавчих пристроїв здійснюється за допомогою зовнішнього стабільного джерела 5 В, яке є основним. У разі відключення основного джерела передбачено автоматичне перемикання на резервне живлення від павербанку, який забезпечує стабільні 5 В та достатній струм для коректної роботи системи. Для реле і виконавчого пристрою пожежогасіння передбачено окреме джерело живлення 12 В, яке комутується реле. Це джерело має спільну землю з Arduino для забезпечення коректної логіки спрацювання. Такий підхід дозволяє уникнути використання додаткових стабілізаторів напруги, оскільки обидва джерела вже мають відповідні параметри для живлення всієї конфігурації. У середовищі Wokwi всі компоненти умовно забезпечуються живленням без обмежень по споживанню, що є спрощенням у

порівнянні з реальним середовищем.

Попри деякі обмеження симулятора, розроблена логіка та апаратна база повністю придатні до фізичної реалізації, за умови врахування енергоспоживання реле та забезпечення окремого стабілізованого живлення виконавчих елементів.

У Wokwi було створена модель на макетній платі (breadboard), яка наближена до реального збирання. Модель відповідає схемі, розробленій для приміщення площею до 30 м². Такий вибір базується на типових рекомендаціях для площ, де достатньо встановлення двох датчиків диму та двох температурних датчиків. Загальний склад апаратної частини, представлений на рисунку 3.1, включає в себе:

- мікроконтролер Arduino Uno;
- 2 датчики диму MQ-2;
- 2 температурні датчики DS18B20;
- кнопка для зупинки тривоги;
- світлодіод для візуального сповіщення;
- активний бузер для звукового сигналу;
- модуль реле для керування виконавчими пристроями;
- 4 резистори для логічної стабільності та захисту компонентів;
- макетна плата.

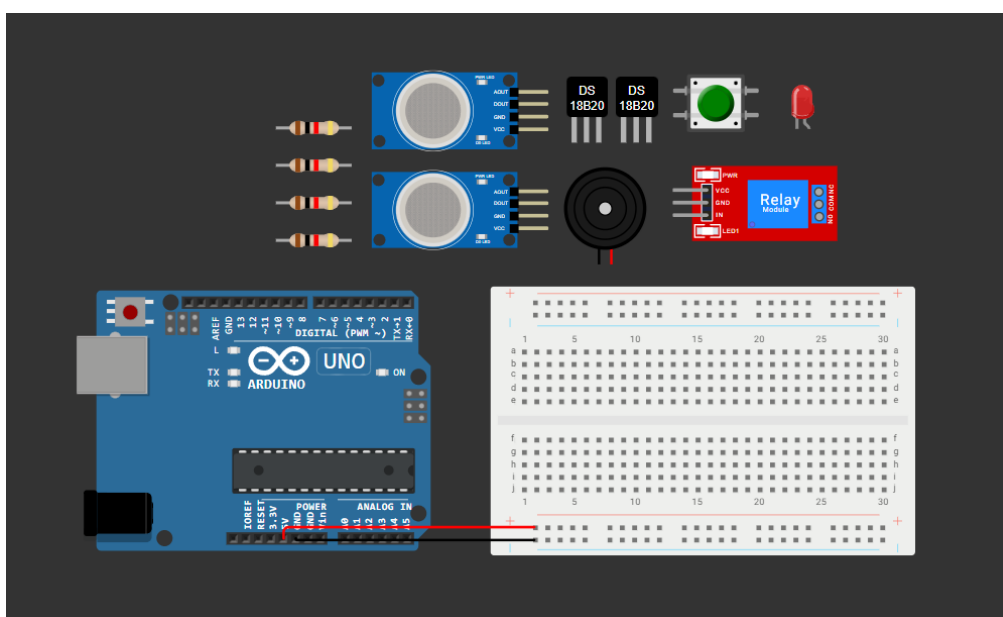


Рисунок 3.1 – Перелік компонентів системи у середовищі Wokwi

Для забезпечення коректного підключення всіх датчиків, модулів та допоміжних елементів необхідно було орієнтуватися на технічну документацію кожного компоненту. Зокрема, враховувались вимоги до напруги живлення, тип виходу (аналоговий або цифровий), особливості протоколів зв'язку, а також потреба у додаткових компонентах, таких як резистори для стабілізації сигналу. Вся інформація про те, як саме підключені елементи до мікроконтролера в симуляторі, наведена у таблиці 3.1.

Готова схема підключення компонентів зображена на рисунку 3.2.

Таблиця 3.1 – Підключення елементів до Arduino UNO

Елемент	Пін
MQ-2 (1)	A0
MQ-2 (2)	A1
DS18B20 (1)	D2
DS18B20 (2)	D3
Button	D4
Relay	D5
Red LED	D6
Buzzer	D7

Одним з ключових елементів є модуль реле, який виконує роль комутаційного вузла. У реальних умовах через реле можна підключати до системи зовнішні пристрої, наприклад, систему пожежогасіння або потужні сигнальні пристрої. У симуляторі реле умовно активується сигналом з цифрового виходу Arduino (пін 5). У реальній системі цей сигнал використовується для керування реле, яке фізично замикає ланцюг між зовнішнім джерелом постійного струму 12 В та виконавчим пристроєм пожежогасіння. Тобто Arduino виконує логічне керування, а не подає живлення на виконавчий елемент безпосередньо.

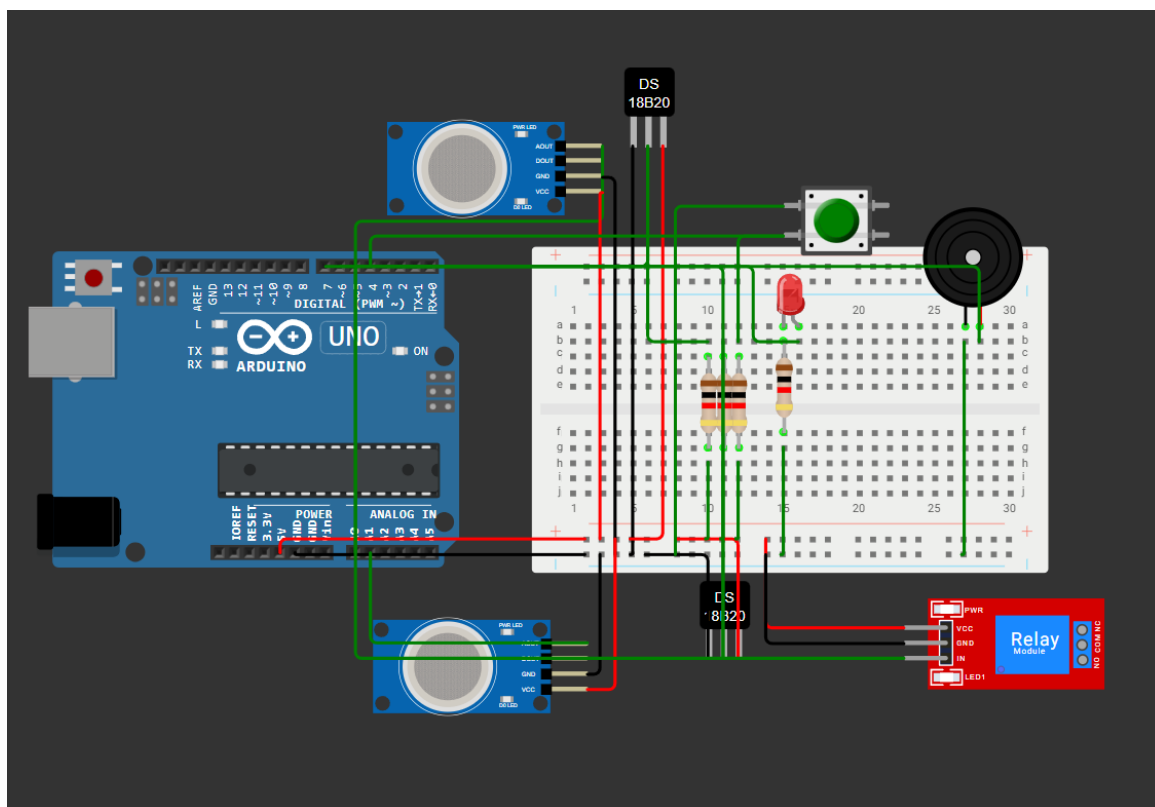


Рисунок 3.2 – Схема підключення всіх компонентів на плату

Резистори на температурних датчиках DS18B20 (10 кОм): використовуються як підтягувальні резистори (pull-up), що з'єднують лінію даних DQ з живленням (5 В). Це необхідно для забезпечення чіткого логічного сигналу, коли лінія неактивна. У протоколі OneWire декілька пристроїв можуть використовувати одну лінію, тож без підтягування сигнал міг би викликати помилки зчитування.

Резистор на кнопці (10 кОм): також виконує роль підтягувального, щоб уникнути невизначеного стану входу в ненависну стані. Без цього резистора вхід міг би зчитувати випадкові шуми або випадково активувати сигнал.

Резистор на світлодіоді (220 Ом): використовується як обмежувач струму. Світлодіоди є дуже чутливими до надлишкового струму, тому при прямому підключенні до 5 В вони можуть згоріти. 220 Ом – оптимальне значення для захисту як світлодіода, так і Arduino.

Таким чином, структура з'єднання враховує не лише функціональність, а й особливості стабільної роботи кожного елемента системи.

3.2 Реалізація логіки виявлення пожежі

У реалізованій системі пожежної сигналізації основна мета – мінімізувати кількість хибних спрацювань та забезпечити реагування лише у випадку реальної загрози займання. Тому в основі роботи системи лежить подвійна логіка спрацювання (AND): тривога активується лише за умови, коли одночасно рівень диму з будь-якого з двох датчиків MQ-2 перевищує встановлений поріг та температура, яку фіксує хоча б один із двох датчиків DS18B20, досягає критичного значення.

```
alarm = smokeDetected && tempDetected;
```

Змінна `alarm` набуває значення `true` лише за умови, якщо `smokeDetected == true` та `tempDetected == true`.

```
smokeDetected = (smoke1 > 500 || smoke2 > 500);
```

```
tempDetected = (temp1 > 60 || temp2 > 60);
```

Для порогового значення температури було обрано 60 °C. Це обґрунтовано характеристикою розвитку пожежі в замкненому приміщенні. Згідно з даними технічної літератури, температура в зонні тління або задимлення зазвичай становить 45-55 °C. Початкова фаза займання, коли вже спостерігається розігрів матеріалів, триває в межах 60–70 °C, а при активному полум'ї температура може перевищувати 80 °C. Таким чином, значення у 60 °C виступає як перша стабільна ознака початку загоряння. До того ж, температурний сенсор DS18B20 має похибку вимірювання $\pm 0,5$ °C у діапазоні до 85 °C, тому вибране значення дозволяє врахувати можливі похибки, не знижуючи надійність системи.

Поріг задимлення, тобто рівень аналогового сигналу з датчика MQ-2, встановлено на рівні 500. На відміну від температурного сенсора, MQ-2 не вимірює

конкретні значення у °C або ppm напряму – він генерує аналоговий сигнал у межах 0–1023, де вища напруга відповідає більшій концентрації диму чи газів у повітрі. У специфікації вказано, що у звичайному середовищі (чисте повітря або слабкий сигаретний дим) значення рідко перевищують 300–400. Значення ж 500 і вище характерні вже для наявності помітної кількості частинок горіння – наприклад, при появі диму внаслідок плавлення пластику або початковому займанні.

Для розуміння логіки роботи датчика варто навести формулу, яка описує принцип формування аналогового сигналу на виході MQ-2:

$$U_{\text{вих}} = \left(\frac{R_s}{(R_s + R_L)} \right) \cdot V_{cc},$$

де R_s – опір сенсора, який змінюється з концентрацією газу;

R_L – навантажувальний резистор (у моїй схемі встановлено значення 10 кОм);

V_{cc} – напруга живлення (5 В).

Ця формула пояснює, як зростання концентрації диму призводить до зменшення R_s , а отже – до збільшення напруги на виході, яка й зчитується Arduino. Проте варто зазначити, що в розрахунках порога спрацювання в проєкті не використовується ця формула безпосередньо – оскільки MQ-2 виводить вже готовий аналоговий сигнал (у вигляді рівня від 0 до 1023), і Arduino зчитує його функцією `analogRead()`. З цієї точки зору, рівень 500 відповідає напрузі приблизно:

$$U_{\text{вих}} = \left(\frac{500}{1023} \right) \cdot 5 \approx 2,45 \text{ В.}$$

Для більшості побутових ситуацій фоновий рівень сигналу від MQ-2 не перевищує 1,5–2,0 В (300–400 по шкалі 10-бітного АЦП). Таким чином, рівень 500 визначено як умовна межа, після якої фіксується суттєве зростання концентрації диму – вже вище за звичайні коливання, але ще до масивного задимлення. Це

дозволяє системі реагувати оперативно на ранні ознаки загоряння.

Слід зазначити, що MQ-2 досить чутливий до вологи, пари, аерозолів та спиртів, тому для підвищення стійкості системи до хибних тривог. Тому встановлення порогу саме на рівні 500 забезпечує додатковий запас проти надмірної чутливості. Це особливо важливо в умовах використання логіки AND, де для активації сигналу тривоги необхідне одночасне перевищення порогу і по температурі, і по задимленості – що значно зменшує ймовірність хибного спрацювання.

Крім того, обрані порогові значення можна буде відлагодити на місці в залежності від особливостей конкретного середовища (вентиляція, фоновий рівень газів, вологість тощо). Це передбачено можливістю зміни меж у програмному кодї без зміни фізичної схеми.

3.3 Тестування роботи системи пожежогасіння

Для тестування використовувалась вже створена схема з мікроконтролером Arduino Uno. Програмний код написано на мові C++, з використанням стандартної бібліотеки OneWire та бібліотеки DallasTemperature – вони забезпечують коректну роботу з цифровими температурними сенсорами DS18B20. Зчитування даних з аналогових датчиків диму MQ-2 реалізовано через функцію `analogRead()`.

Усі зчитування параметрів системи (температура, рівень диму, стан тривоги) виводяться до командної строки через Serial Monitor з затримкою 1000 мс. Це дозволяє спостерігати зміну значень у реальному часі та перевіряти, чи правильно система реагує на вхідні сигнали (рис. 3.3).

SERIAL MONITOR		CHIPS CONSOLE	
Smoke1: 466	Smoke2: 432	Temp1: 31.00	Temp2: 26.25
Smoke1: 466	Smoke2: 432	Temp1: 31.00	Temp2: 32.63
Smoke1: 466	Smoke2: 432	Temp1: 31.00	Temp2: 43.75
Smoke1: 466	Smoke2: 432	Temp1: 31.00	Temp2: 47.00
Smoke1: 466	Smoke2: 432	Temp1: 31.00	Temp2: 47.00

Рисунок 3.3 – Вивод інформації про датчики до командної строки

Під час зміни будь-якого значення на датчиках, в консоль виводилось поточне значення для цього датчика. Було розглянуто декілька комбінацій температурних та димових показників. У першій ситуації значення одного з датчиків диму перевищило пороговий рівень, тоді як температурні показники залишались у межах норми (рис. 3.4). У другій ситуації навпаки – один із температурних датчиків фіксував перевищення температури понад 60°C, однак рівень задимленості залишався низьким (рис. 3.5). В обох випадках сигнал тривоги не активувався, що підтверджує правильну роботу логіки AND – система не реагує на одиничне спрацювання, а очікує одночасного перевищення обох порогів.

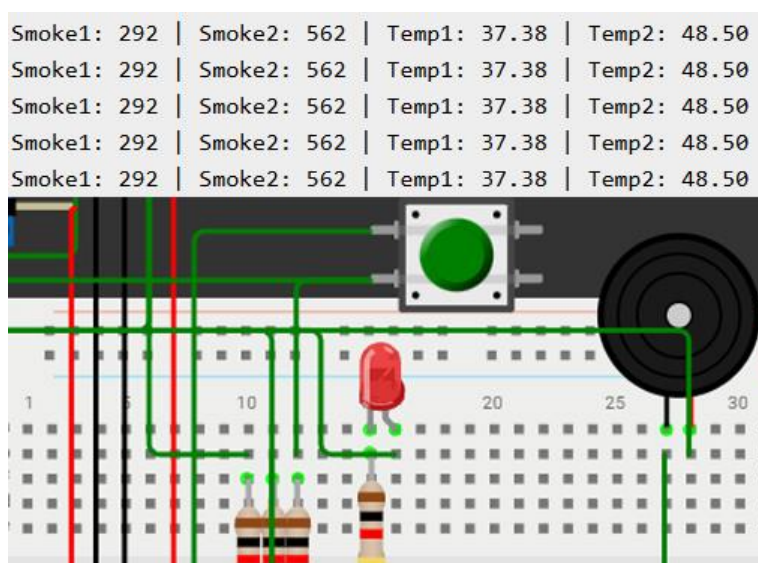


Рисунок 3.4 – Сценарій одиничного перевищення рівня диму

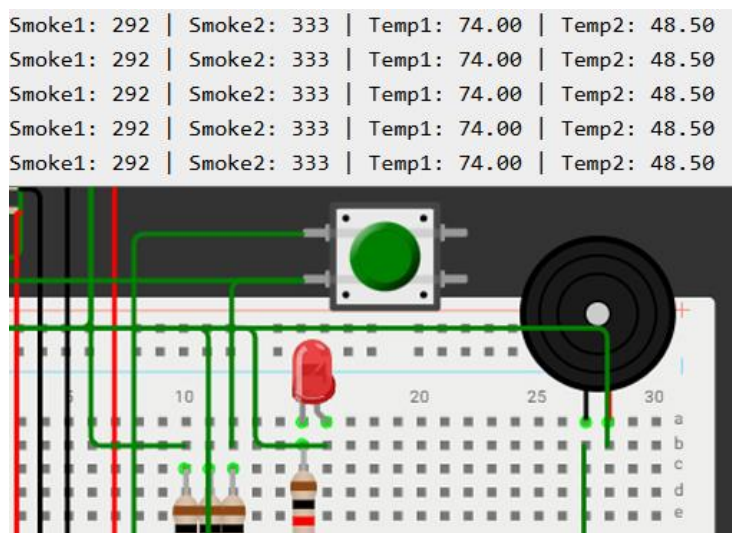


Рисунок 3.5 – Сценарій одиничного перевищення температури

У третій ситуації температура з одного датчика перевищила $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, а один з датчиків MQ-2 показав рівень задимленості понад 500. Після виконання обох умов спрацювання система активувала тривогу: було включено реле, світлодіодний індикатор і звуковий сигнал (рис. 3.6). У командному рядку також відобразилась відповідна зміна – сигнал тривоги `alarm = true`.

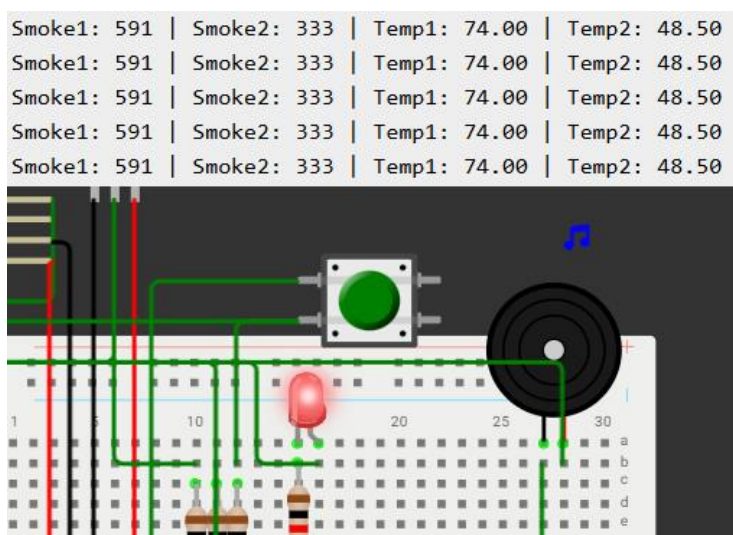


Рисунок 3.6 – Активована тривога при перевищенні обох порогів

У четвертому тесті було перевірено роботу кнопки скидання тривоги. Після активації тривоги користувач натискає кнопку, в консоль виводиться повідомлення що аварійні заходи були відключені і система переходить у режим затримки:

сигналізація вимикається на 30 секунд, навіть якщо небезпечні значення зберігаються, датчики продовжують моніторинг (рис. 3.7). Після закінчення цього інтервалу система повертається до роботи, та у разі зберігання небезпеки запустить сигнал тривоги знову. Така функція є корисною у разі хибного спрацювання або короткочасного перевищення параметрів.

```
Smoke1: 591 | Smoke2: 333 | Temp1: 74.00 | Temp2: 48.50  
Кнопка натиснута – тривога скинута на 30 секунд  
Smoke1: 591 | Smoke2: 333 | Temp1: 74.00 | Temp2: 48.50  
Smoke1: 591 | Smoke2: 333 | Temp1: 74.00 | Temp2: 48.50
```

Рисунок 3.7 – Вивід повідомлення про натискання кнопки скидання тривоги

У реальних умовах реле може керувати зовнішніми системами протипожежної безпеки. Зокрема, згідно з описаним у розділі 2.4 функціоналом, можливе підключення аерозольного модуля пожежогасіння типу ГВА, який активується шляхом подачі живлення 12 В через замикання контактів реле. У цій конфігурації Arduino виконує лише функцію логічного керування – воно подає сигнал на реле, яке, у свою чергу, комутує зовнішню силову лінію

3.4 Охорона праці

Охорона праці є невід’ємним елементом проектування технічних систем, зокрема у сфері пожежної безпеки, де від надійності та безпечності системи залежить не лише збереження майна, але й життя людей. У процесі розробки системи автоматичного керування функціонуванням аварійного пожежогасіння було враховано вимоги безпеки щодо монтажу, експлуатації та обслуговування низьковольтного електронного обладнання, а також умови функціонування системи у типових середовищах експлуатації.

Особливу увагу приділено аналізу можливих небезпек, зокрема ураження електричним струмом, коротких замикань, перегріву компонентів або

неконтрольованого спрацювання виконавчих пристроїв. Для усунення цих ризиків передбачено використання джерел живлення з обмеженою потужністю, ретельну ізоляцію контактів, дотримання полярності при підключенні, застосування релейної розв'язки між мікроконтролером та високострумowymi елементами. Сенсори та виконавчі модулі розташовуються із дотриманням безпечних відстаней, щоб уникнути взаємного термічного впливу.

Умови експлуатації системи також мають відповідати технічним вимогам електронних компонентів. Для безпечної та стабільної роботи рекомендовано дотримання температурного режиму в межах від $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. За межами цього діапазону можливе порушення точності вимірювання сенсорів, а також зміна характеристик елементів живлення, що може призвести до збоїв. Вологість повітря в приміщенні повинна залишатися в межах 30–80% без утворення конденсату. Висока вологість може спричинити корозію контактів, утворення провідних доріжок на платах, а в поєднанні з пилом – формування струмопровідних містків, що унеможливорює стабільну роботу системи.

Під час встановлення системи вимагається уникати розміщення компонентів поблизу джерел тепла або у зонах із прямим сонячним випромінюванням. У місцях із ризиком утворення конденсату – наприклад, технічні приміщення без опалення – передбачено використання додаткових засобів герметизації та захисту від вологи (наприклад, силіконові компаунди, герметичні корпуси). Також необхідно виключити можливість механічного впливу на вузли системи, забезпечивши їх захист за допомогою монтажу в щити або на DIN-рейки в електрошкафах.

Важливою складовою безпеки є функція ручного скидання тривоги, яка дозволяє зупинити активні виконавчі елементи у разі помилкового спрацювання або усунення джерела загрози. Резервне живлення реалізоване на основі енергоощадних рішень із стабілізацією вихідної напруги, що виключає вплив коливань параметрів мережі на працездатність системи.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було послідовно розглянуто всі етапи створення автоматизованої системи для виявлення загрози займання та керування аварійним пожежогасінням. Робота складалась із трьох основних розділів, кожен із яких відігравав окрему роль у досягненні поставленої мети.

У першому розділі проведено загальний огляд предметної області, зосереджено увагу на сучасних методах виявлення пожежі, типах пожежогасіння та особливостях побудови автоматизованих систем. Було проаналізовано типові сенсори, принципи їх дії, а також критерії вибору апаратної бази для систем пожежної сигналізації. Окрему увагу приділено варіантам автономного пожежогасіння, зокрема аерозольним генераторам, як оптимальному варіанту для невеликих приміщень. На основі цього аналізу сформульовано загальні вимоги до майбутньої системи.

У другому розділі здійснено безпосереднє проєктування системи: обґрунтовано вибір елементної бази, зокрема Arduino Uno як основного контролера, сенсорів MQ-2 і DS18B20, виконавчих пристроїв і допоміжних компонентів. Розроблено загальну структурну схему системи, логіку спрацювання, а також описано алгоритм виявлення пожежонебезпечних ситуацій на основі логіки AND. Також розглянуто принцип спрацювання реле як виконавчого елемента та можливість його використання для автоматичної активації аерозольного модуля пожежогасіння.

У третьому розділі здійснено моделювання роботи системи в середовищі Wokwi. Описано процес складання макету, тестування роботи сенсорів, реалізацію алгоритму виявлення загрози та функціонал аварійного скидання тривоги. У цьому ж розділі проаналізовано обрані порогові значення задимлення та температури, пояснено використання підтягувальних і захисних резисторів у схемі. Проведено декілька експериментів з варіаціями вхідних даних, результати яких підтвердили правильність роботи алгоритму. Система успішно реагувала лише на ті ситуації,

які відповідали одночасному перевищенню температурного та димового порогів. Також у рамках тестування підтверджено стабільність затримки після натискання кнопки скидання. Okремо підкреслено, що в реальних умовах при спрацюванні реле буде релізована подача сигналу на модуль пожежогасіння, що дозволяє реалізувати повний цикл – від виявлення до фізичного гасіння займання.

Унікальністю розробленої системи є її орієнтація саме на компактні приміщення площею до 30 м², де встановлення дорогих централізованих систем є недоцільним або технічно складним. Також варто відзначити використання комбінованого методу виявлення загрози на основі логіки AND, що забезпечує високий захист від хибних спрацювань, характерних для побутових умов. Простота реалізації, відносна дешевизна елементної бази та можливість віддаленого моделювання і тестування в середовищі Wokwi роблять запропоновану систему придатною як для освітніх, так і для практичних застосувань.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. – 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології освітньої програми «Системна інженерія» / Упоряд.: І.Ш. Невлюдов, О.М. Цимбал, О.В.Токарева, А.І. Бронніков. Харків: ХНУРЕ, 2022. 66 с.
3. Невлюдов І. Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник для студентів вищих навчальних закладів / І. Ш. Невлюдов та інш. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. – 444 с.
4. Sotnik S. V. Analysis of design process of automated fire protection system / S. V. Sotnik, Y. R. Vasylychenko // Automation, electronics and robotics (AERT-2023). – 2023. – P. 59-62.
5. Компоненти пожежної сигналізації. URL: https://expert112.com.ua/komponenty-pozharnoy-signalizacii/index_ua.html
6. Siemens. Cerberus ECO – система пожежної безпеки. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-ta-bezpeka-budivel/pozhezhna-bezpeka/systemy-pozhezhnoyi-bezpeky/cerberus-eco.html>
7. Система адресної пожежної сигналізації «Парус». ТОВ «UA-Systems». URL: <https://www.ua-systems.com.ua/ops>
8. HS-81 – система пожежної сигналізації та керування. Honeywell. URL: <https://www.honeywellbuildings.in/fire/fire-detection-and-alarm-system/hs81>
9. Arduino Uno Rev3. Arduino Official Store. URL: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
10. MQ-2 Combustible Gas Sensor. Winsen Electronics. URL: [https://www.winsen-sensor.com/d/files/newpdf/mq-2-\(ver1_6\)---manual.pdf](https://www.winsen-sensor.com/d/files/newpdf/mq-2-(ver1_6)---manual.pdf)

11. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Maxim Integrated. URL: <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS18B20.pdf>

12. Інструкція з експлуатації генераторів вогнегасного аерозолу «ГВА FS». FireStop/ТОВ «Експерт 112». URL: <https://fire-stop.com.ua/download/manual-firestop-gva-240.pdf>

13. Невлюдов, І.Ш. Теорія автоматичного управління (збірник задач): навчальний посібник / І.Ш. Невлюдов, О.В.Токарєва. Харків: ХНУРЕ, 2020. - 240 с.

14. Wokwi. Онлайн-середовище моделювання схем Arduino. URL: <https://wokwi.com>

15. Стищенко Т.Є., Пронюк Г.В., Сердюк Н.М., Хондак І.І. «Безпека життєдіяльності»: навч. посібник / Т.Є Стищенко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк, І.І. Хондак. – Харків: ХНУРЕ, 2018. 336 с.