

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики

«До захисту допущено»
Завідувачка кафедри

_____ Лариса ОДНОДВОРЕЦЬ
_____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

за спеціальністю 171 «Електроніка» освітньо-професійної програми «Електронні інформаційні системи»

на тему: **«СЕНСОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ:
КОНСТРУКЦІЯ ТА ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ»**

Здобувача групи ЕП-01 Галата Євгена Миколайовича

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Євген ГАЛАТ

Керівник доцент кафедри електроніки,
загальної та прикладної фізики,
канд. фіз.-мат. наук, доцент

Юрій ШАБЕЛЬНИК

СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики
Спеціальність 171 – Електроніка, освітньо-професійна програма
«Електронні інформаційні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ЕЗПФ
Лариса Однорець
«01» травня 2024 року

**ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Галата Євгена Миколайовича

**Тема роботи: «СЕНСОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ:
КОНСТРУКЦІЯ ТА ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ РОБОТИ»**

затверджена наказом СумДУ від «24» квітня 2024 р., № 0417-VI

2. Термін задачі здобувачем закінченої роботи 24 травня 2024 року
3. Вихідні дані до роботи (актуальність, мета):

У сучасному світі нанотехнології відіграють критичну роль у розвитку новітніх електронних пристроїв, зокрема у сфері сенсорної техніки. Тонкоплівкові чутливі елементи є одним із ключових компонентів у виробництві високочутливих та високоточних сенсорів, які застосовуються у різних галузях промисловості, в тому числі і в датчиках протипожежних систем. Ці елементи забезпечують інтеграцію функціональних матеріалів з мікро- та нанорозмірними структурами, що дозволяє значно підвищити ефективність та функціональність сенсорних систем.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у вивченні конструктивних особливостей та фізичного принципу роботи сенсорних систем протипожежного оповіщення. Результати дослідження можуть бути використані під час створення системи виявлення пожежі з надійними сенсорами, які здатні виявляти дим, підвищення температури та інші ознаки пожежі.

4. Зміст текстової частини роботи (перелік питань, які необхідно розробити):
1. Сенсори для систем виявлення пожежі. Літературний огляд
 2. Опис системи пожежогасіння.
 3. Моделювання системи протипожежної сигналізації для промислових об'єктів.
 4. Висновки.
 5. Список використаних джерел.
4. Перелік графічного матеріалу для презентації:
- Слайди № 1-2. Актуальність і мета роботи.
- Слайди № 3-6. Сенсори для систем виявлення пожежі. Літературний огляд.
- Слайди № 7-13. Опис системи пожежогасіння..
- Слайди № 14. Моделювання системи протипожежної сигналізації для промислових об'єктів.
- Слайд №15. Висновки.
- Слайд №16. Подяка.
6. Дата видачі завдання 01.05.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка про стан вик. роботи
1.	Аналіз літературних даних	до 07.05.2024 р.	<i>вик.</i>
2.	Проведення вимірювань, моделювання, розрахунків, обробка результатів	до 22.05.2023 р.	<i>вик.</i>
3.	Оформлення тексту кваліфікаційної роботи	до 26.05.2023 р.	<i>вик.</i>
4.	Попередній захист роботи	31.05.2024 р., 10-00, онлайн	<i>вик.</i>
5.	Захист кваліфікаційної роботи	06.06.2024 р., 10-00, онлайн	

Здобувач вищої освіти

Керівник

Євген ГАЛАТ

Юрій ШАБЕЛЬНИК

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 37 сторінках, зокрема, містить 22 рисунки, 4 таблиць, список використаних джерел складається з 24 найменувань.

У сучасному світі нанотехнології відіграють критичну роль у розвитку новітніх електронних пристроїв, зокрема у сфері сенсорної техніки. Тонкоплівкові чутливі елементи є одним із ключових компонентів у виробництві високочутливих та високоточних сенсорів, які застосовуються у різних галузях промисловості, в тому числі і в датчиках протипожежних систем. Ці елементи забезпечують інтеграцію функціональних матеріалів з мікро- та нанорозмірними структурами, що дозволяє значно підвищити ефективність та функціональність сенсорних систем.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра полягає у вивченні конструктивних особливостей та фізичного принципу роботи сенсорних систем протипожежного оповіщення. Результати дослідження можуть бути використані під час створення системи виявлення пожежі з надійними сенсорами, які здатні виявляти дим, підвищення температури та інші ознаки пожежі.

Ключові слова: ARDUINO, ДАТЧИК, ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА, СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ, ПРОТИПОЖЕЖНЕ ОПОВІЩЕННЯ, СЕНСОРИ, СПОВІЩУВАЧ.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. СЕНСОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	6
1.1. Системи моніторингу.....	6
1.2. Методи вимірювання температури	12
РОЗДІЛ 2. ОПИС СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ	18
2.1. Апаратне забезпечення.....	18
2.2. Програмне забезпечення	26
2.3. Розташування датчиків у будівлі.....	28
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ	31
3.1. Сигналізації для промислових об'єктів	31
ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35

РОЗДІЛ 1. СЕНСОРИ ДЛЯ СИСТЕМ ВИЯВЛЕННЯ ПОЖЕЖІ. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Системи моніторингу

Для виявлення пожежонебезпечних ситуацій та забезпечення пожежної безпеки існує безліч різноманітних систем моніторингу, спостереження та контролю. Основною метою таких систем є своєчасне виявлення та вирішення проблем, а також зменшення ризиків та небезпеки (рис. 1.1).

Провідне значення для вчасного виявлення пожежонебезпечних ситуацій мають системи пожежної сигналізації, які автоматично виявляють дим, тепло або інші чинники, які вказують на виникнення пожежі. Після цього система пожежної сигналізації передає звукові та візуальні сигнали для попередження людей про небезпеку. Окрім того, такі системи зазвичай одразу підключені до системи сповіщення пожежної охорони [1].



Рисунок 1.1 – Система пожежної сигналізації. Із роботи [2]

Системи пожежної сигналізації поділяються на два основні типи: безадресні (неадресні) та адресні. Безадресні системи (рис. 1.2) пожежної сигналізації майже втратили свою актуальність та зазвичай використовуються на невеликих об'єктах. Це зумовлено тим, що сповіщувачі безадресних систем пожежної сигналізації об'єднані шлейфом в одну зону виявлення. Тобто якщо спрацював один із сповіщувачів, то це призводить до формування загального сигналу по всій зоні без сповіщення конкретного місця виникнення пожежі [3].

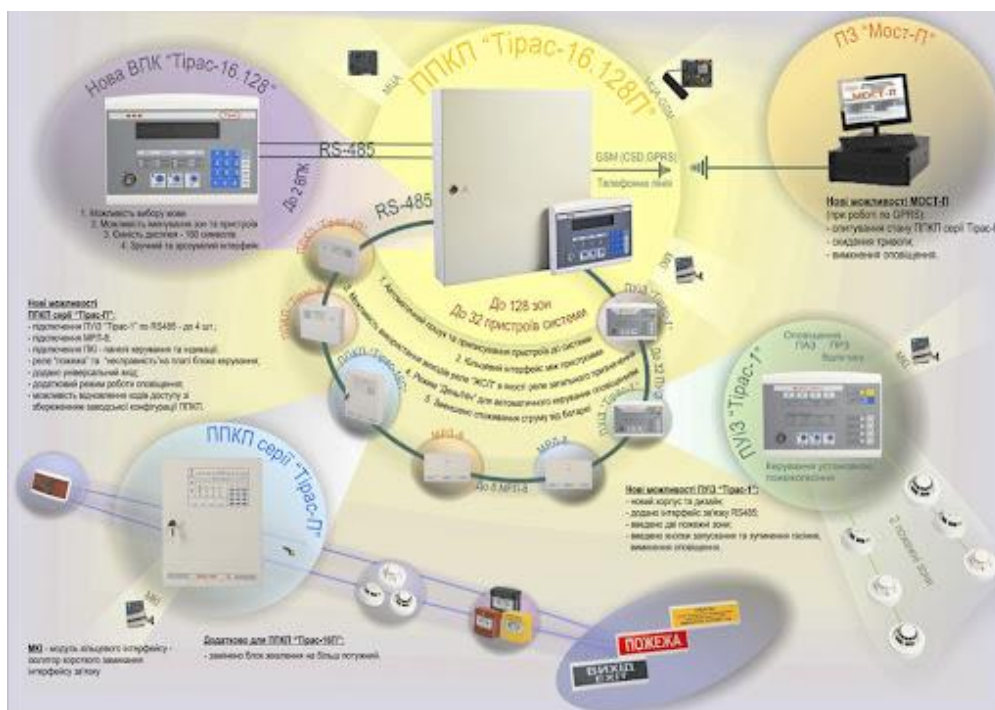


Рисунок 1.2 – Безадресна система пожежної сигналізації. Адаптовано із роботи [3]

Адресні системи пожежної сигналізації (рис. 1.3) значно відрізняються від неадресних та використовуються зазвичай для середніх або великих промислових приміщень або об'єктів адміністративно-громадського значення. Ключовою відмінністю адресних систем пожежної сигналізації є наявність у кожного сповіщувача адреси у кільці та функціонування протоколу обміну інформацією між датчиками та приймально-контрольною панеллю [3]. Тобто після спрацювання одного із сповіщувачів, на панель направляється сигнал із зазначення номеру кільця та адреси відповідного сповіщувача.



Рисунок 1.3 – Адресна система пожежної сигналізації. Із роботи [3]

Окрему увагу варто звернути на автоматичні системи пожежогасіння. Автоматична система пожежогасіння є системою, яка автоматично активується після виявлення пожежі та починає процес гасіння (рис. 1.4). Вони розраховані на швидку реакцію на спалах та виключення чинників, через які відбувається горіння. Такі системи використовують різні типи вогнегасних речовин (воду, газ і хімікати) [4].

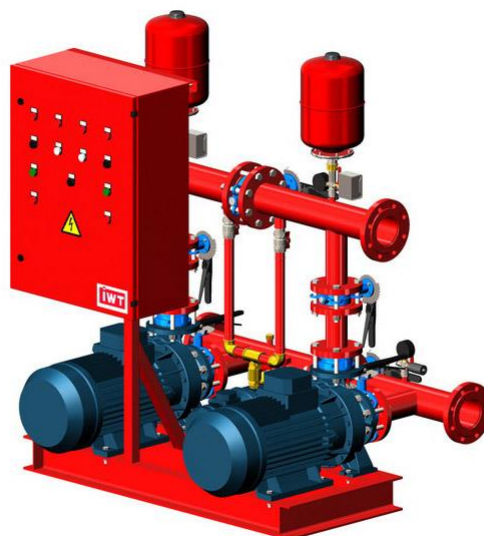


Рисунок 1.4 – Автоматична система пожежогасіння. Із роботи [4]

Системи автоматичного пожежогасіння поділяються на різноманітні типи залежно від виду будівлі, її призначення, вогнегасної речовини та інших факторів. Серед основних видів автоматичних систем пожежогасіння варто виокремити наступні: система газового пожежогасіння, система порошкового пожежогасіння, водяна система пожежогасіння, аерозольні автоматичні системи пожежогасіння та комбіновані автоматичні системи пожежогасіння.

Система газового пожежогасіння – система, яка для гасіння пожежі використовує газ (аргон або CO_2) для заміщення кисню у приміщенні [5]. Найчастіше такі системи використовуються у приміщеннях, де знаходиться електроніка. Виділяють два типи систем газового пожежогасіння: центрального і модульного типів. Зазвичай такі системи складаються з:

1. подаючого газопроводу зі спеціальними насадками;
2. системи виявлення вогнища спалаху;
3. ресиверів для зберігання газу;
4. заправної станції;
5. блоків управління системою (датчики, система безперебійного електропостачання, система зв'язку тощо) [6].

У системах порошкового пожежогасіння основним діючим компонентом для гасіння пожеж є порошок. Такі системи використовуються зазвичай у приміщеннях, де можна швидко евакуювати людей (на складах, гаражах, в невеликих офісах), а також у приміщеннях, де знаходяться маслянисті речовини або горючі матеріали (дерево або пластик).

Сучасні системи порошкового пожежогасіння використовують не лише модулі порошкового пожежогасіння, а також водяні, газові або аерозольні модулі. Це забезпечує тривалий викид речовини, а також можливість швидко та ефективно локалізувати вогнище [7]. Окрім того такі системи є ефективними для гасіння майже всіх речовин, як твердих, рідких або газоподібних, так і об'єктів, які знаходяться під напругою. Такі системи запускаються малопотужним імпульсом струму.

Системи аерозольного пожежогасіння використовує аерозоль для гасіння

пожежі. Аерозоль – це суспензія твердих частинок у газі. Така система працює одразу у декількох напрямках: ізоляція горіння від кисню, охолодження, хімічна інгібіція [8].

Основною діючою речовиною в системах аерозольного пожежогасіння є хімічні сполуки, які утворюються в процесі горіння аерозольної суміші [9]. При використанні таких систем здійснюється скорочення поширення вогню за рахунок прямої хімічної дії на джерело спалаху. Пожежогасіння за допомогою аерозольних систем відбувається шляхом введення в зону займання суспензії горючих частинок, які ліквідують каталізатори горіння.

Аерозольні системи заборонено використовувати:

1. в приміщеннях, де не можна швидко евакуювати персонал або у місцях великого скупчення людей;
2. для гасіння схильних до самозаймання речовини з волокнистою, сипучою або пористою структурою;
3. пірофорні речовини, гідриди та порошки металів, а також деякі метали (калій або натрій);
4. для гасіння матеріалів з полімерною структурою, хімічні речовини і їх сполуки, які можуть тліти і горіти без припливу повітря [9].

Найпоширенішими системами пожежогасіння є водяні через свою низьку вартість та ефективність. Гасіння пожеж за допомогою таких систем базується на різкому охолодженні зони горіння. Системи водяного пожежогасіння використовують у закладах культури, спортивних комплексах, енергооб'єктах, а також на об'єктах, де знаходиться технологічне обладнання та легкозаймисті речовини (бавовна, льон, деревина, горючі сипучі речовини, ряд вогнебезпечних рідин та ін.) [10]. Системи водяного пожежогасіння поділяються на два типи: спринклерні установки та дренчерні системи.

Спринклерні установки призначені для більш локального використання, тобто гасіння відбувається безпосередньо на ділянці спалаху. Спринклерні установки використовуються для своєчасного виявлення займання, оповіщення про пожежу, локалізації пожежі та локально-поверхневого пожежогасіння.

Такі установки обладнані спеціальними головками, через які поширюється вогнегасна речовина (рис. 1.5). Вихідні отвори головок закриваються спеціальним тепловим замком. Цей замок плавиться при певній температурі та забезпечує вихід води або піни з головки [11]. Активація спринклерних систем відбувається повністю автономно, після перевищення температурою граничного значення.



Рисунок 1.5 – Автоматична спринклерна система. Із роботи [12]

Автоматичні дренчерні системи розраховані на насіння пожежі на всій території об'єкту. Така система використовується не лише для гасіння осередку пожежі, а також для виключення розповсюдження полум'я на інші приміщення. Установки дренчерної системи облаштовані спеціальними головками відкритого типу (дренчерами) та активуються після надходження сигналу від електронного блоку або після ручної активації установки.

Дренчерні системи спрацьовують значно швидше за спринклерні системи, оскільки процес пожежогасіння установками першого типу відбувається миттєво після отримання сигналу від датчиків температури/диму або ручної активації, а для установок другого типу необхідний час для руйнування теплового замка [11].

1.2. Методи вимірювання температури

Температура є важливим інструментом для вираження теплового стану об'єктів. Температура є фізичною величиною, яка відображає ступінь нагріву або охолодження навколишнього середовища або конкретного об'єкта. Існує декілька методів для вимірювання температури, зокрема:

1. Вимірювання за допомогою рідинного термометру;
2. Вимірювання температури біметалевим термометром;
3. Вимірювання температури термістором;
4. Вимірювання температури з використанням термопари;
5. Вимірювання температури інфрачервоними датчиками.

Вимірювання за допомогою рідинного термометру є одним із найпоширеніших методів. Він широко використовується як при промислових процесах або лабораторних дослідженнях, так і в повсякденному житті. Такий метод вимірювання температури ґрунтується на фізичних властивостях рідин, які змінюються разом із зміною температури.

Рідинні термометри складаються з тонкостінного скляного резервуара, сполученого із скляним капіляром. Для вимірювання температури термометр обладнаний шкалою. Скляний капіляр наповнюється рідиною [13]. Рідина, якою наповнюється термометр залежить від його призначення. Найчастіше використовуються ртуть та підфарбовані спирти. Частина простору в капілярі, не зайнята рідиною, заповнена сухим інертним газом, що запобігає розриву рідини.

В капілярі також наявні дві камери: скорочувальна камера, яка дозволяє скоротити довжину капіляра, та розширювальна камера, яка захищає термометр від перегрівання.

Під час зміни температури змінюється об'єм рідини. Тобто при збільшенні температури рідина розширюється та підіймається вгору по стовпчику. При зменшенні температури, навпаки, рідина стискається та рухається вниз. Температура вимірюваного середовища дорівнює поділу на шкалі, на яке вказує рівень рідини в колбі.

Серед основних переваг рідинних термометрів можна виокремити: невисока вартість, простота конструкції, точність вимірів (до 0,05 - 0,1 °С), придатність до тривалої експлуатації (при правильному використанні до 15-20 років).

Наступним методом є вимірювання температури біметалевим термометром (рис. 1.6). Біметалеві термометри є міцнішими за рідинні та зазвичай використовуються на промислових об'єктах. Такий термометр складається з двох металевих смужок, які з'єднані між собою. Кожна з них має різний коефіцієнт розширення.

Принцип роботи полягає у деформації біметалевої смужки при зміні температури [13]. Тобто при зміні температури кожна із смужок розширюється або скорочується, залежно від її коефіцієнта, це призводить до вигинання біметалевої смужки. Кривизна біметалевої смужки передається на шкалу або індикатор, який відображає температуру. За допомогою механічного механізму або електронної системи вигин біметалевої смужки перетворюється на вимірювання температури.



Рисунок 1.6 – Біметалевий термометр. Із роботи [15]

Серед переваг біметалевих термометрів варто виокремити широкий діапазон вимірювання температур. Граничне високе значення для вимірювання температур у таких термометрів досягає 500 °С. Окрім того біметалічні термометри мають просту конструкцію, є доволі надійними та практичними у використанні. Проте є і певні недоліки, зокрема: обмежена точність вимірювання, повільна реакція на зміну температуру, а також чутливість до зовнішніх факторів (наприклад, вібрації або удари).

Наступним методом є вимірювання температури термістором. Термістор – це електронний компонент, який змінює свій електричний опір зі зміною температури. Головним компонентом термістора є спеціальний термочутливий матеріал. Матеріал відрізняється залежно від типу терморезистора, це може бути кераміка, полімери, скло або метал. На кожному його кінці знаходяться електричні контакти, які зазвичай виготовляються з металу (мідь або нікель). Розміщуються термістори в корпусі, який забезпечує механічний захист та ізоляцію від зовнішнього середовища. Такий корпус виготовляється з кераміки, пластику або металу.

Термістори є дуже чутливими до зміни температури. Термістори використовують у діапазоні температур від -50 до $+300$ °C. Існує два основних види термісторів: з позитивним температурним коефіцієнтом (PTC) та з негативним температурним коефіцієнтом (NTC). Кожен тип термістора має свій обмежений діапазон робочих температур

Для резистору PTC (рис. 1.7) характерне збільшення опору при збільшенні температури. Збільшення опору відбувається через зміну електронної структури матеріалу під час збільшення температури [16]. Такі резистори, зазвичай, використовуються не для виміру температури, а для попередження перегріву.

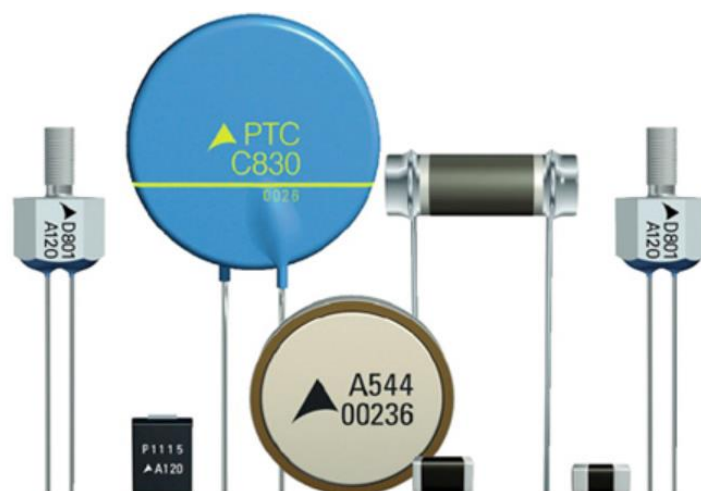


Рисунок 1.7 – PTC резистор. Із роботи [16]

Для резистору NTC характерне зменшення опору при збільшенні температури (рис. 1.8). Зменшення опору відбувається через збільшення кількості вільних носіїв заряду при збільшенні температури [17]. Такі резистори використовуються саме для вимірювання температури, а також для терморегуляції, захисту електроніки від перевантаження.

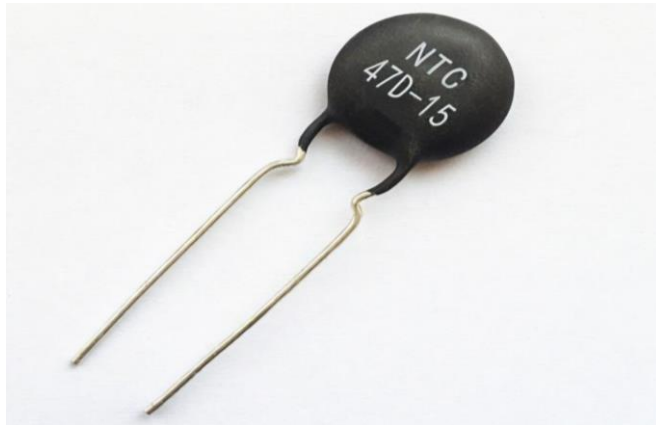


Рисунок 1.8 – NTC резистор. Із роботи [17]

Наступним методом є вимірювання температури з використанням термопари. Термопара (рис. 1.9) є приладом для вимірювання температури, який заснований на термоелектричному ефекті (ефекті Зеєбека). Термопара складається з двох металевих провідників, які з'єднані в одній точці (спаї). Коли на кінцях термопари виникає різниця температур, виникає електрорушійна сила (ЕРС), пропорційна цій різниці [18].



Рисунок 1.9 – Термопара. Із роботи [18]

Термопари використовуються в діапазоні температур від -200°C до понад 1400°C . Вимірювання температури з використанням термопари найчастіше застосовується в автоматизованих системах управління і контролю. Найбільш високотемпературними контактними датчиками температури є термопари із вольфрам-ренієвого сплаву [19]. Такі термопари використовуються в металургії для контролю температури розплавлених металів.

До переваг термопари належать: великий температурний діапазон; мала вага та низька теплоємність, що забезпечує миттєву реакцію на зміну температури; проста конструкція; здатність працювати навіть в агресивних умовах (при високій вологості, з кислотами або лугами). Проте є і певні недоліки, зокрема: вплив зовнішніх чинників (наприклад, електромагнітного поля) на точність виміру, нелінійна залежність між вимірюваною температурою і вихідною ЕРС, а також низька чутливість деяких термопар.

Останнім методом є вимірювання температури інфрачервоними датчиками. Інфрачервоний датчик – це пристрій, який призначений для вимірювання та реєстрації інфрачервоного випромінювання, що випускається об'єктом на основі його температури (рис. 1.10) [20]. Коли об'єкт випромінює інфрачервоне випромінювання, його енергія впливає на фоточутливий елемент, змінюючи його електричні властивості і генеруючи вимірювальний сигнал. Інфрачервоне випромінювання знаходиться в діапазоні довжин хвиль приблизно від $0,7\ \mu\text{м}$ до $1000\ \mu\text{м}$.

Інфрачервоні датчики мають датчик, який виявляє випромінювання і перетворює його в електричний сигнал. Це відбувається за допомогою світлочутливого елемента. Такий елемент може бути виготовлений з п'єзоелектричного, фотопровідного або піроелектричного матеріалів.



Рисунок 1.10 – Інфрачервоний датчик. Із роботи [19]

Серед переваг такого методу вимірювання можна виокремити: швидка реакція на зміну температури; широкий температурний діапазон (від кількох градусів Цельсія до кількох тисяч градусів Цельсія); для вимірювання температури інфрачервоними датчиками необов'язкова наявність фізичного контакту. Серед недоліків: чутливість до випромінювання або відбиття поверхні може впливати на результати вимірів; атмосферні умови (вологість, пил або дим) впливають на точність інфрачервоних датчиків.

РОЗДІЛ 2. ОПИС СИСТЕМИ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

2.1. Апаратне забезпечення

В основу апаратного забезпечення для сенсорної системи виявлення пожежі обрано платформу Arduino. Arduino – це відкрита платформа для розробки електронних пристроїв на основі мікроконтролерів [21]. Ця платформа є простою у використанні, не вимагає програматора для завантаження коду на плату. Вона базується на вільному та відкритому програмному забезпеченні. Тобто користувач може змінювати та розширювати його функціонал. Arduino підтримує широкий спектр додаткових модулів та датчиків, завдяки яким виникає можливість використання платформи для виконання різних проектів.

Arduino складається з апаратного та програмного забезпечення. Апаратна частина, в свою чергу, складається з мікроконтролера, який керує пристроєм; різних датчиків та інші компонентів, які можна підключити до плати Arduino. Програмна частина складається з Arduino IDE (інтегрованого середовища розробки), яке дозволяє розробникам створювати та завантажувати додатки на плату Arduino.

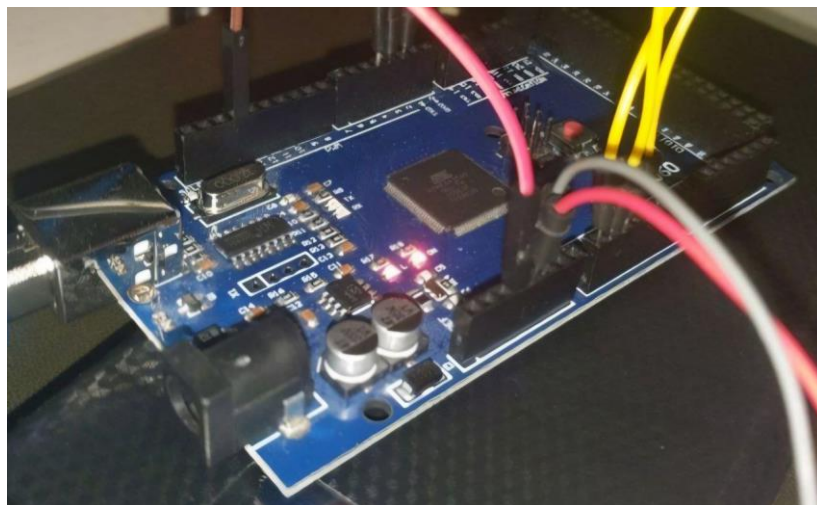


Рисунок 2.1 – Платформа Arduino

Однією із найпоширеніших моделей платформи Arduino є Arduino Uno. Ключовим елементом цієї моделі є мікроконтролер ATmega328P. Цей мікроконтролер заснований на архітектурі AVR, є високопродуктивним та з низьким енергоспоживанням. ATmega328P має тактову частоту 16 МГц і може взаємодіяти з широким спектром периферійних пристроїв через різні інтерфейси, такі як UART, SPI і I2C. Ця модель має USB-порт, який дозволяє підключати її до комп'ютера для програмування [20].



Рисунок 2.2 – Arduino uno. Із роботи [20]

Наступним важливим елементом є сенсорні датчики. В першу чергу варто зупинитись на датчиках температури. В якості датчика температури було обрано датчик температури LM35DZ. LM35DZ – це аналоговий датчик температури, що має високу точність і є доволі простим у використанні. Головним принципом роботи даного датчика є зміна вихідної напруги в залежності від температури навколишнього середовища. Датчик температури LM35DZ широко використовується у протипожежних системах для виявлення підвищення температури та інших системах контролю температури.

Тож серед переваг датчика LM35DZ варто виокремити: широкий температурний діапазон; швидка реакція на зміну температури; висока точність та простота використання. Проте при виборі даного датчику варто враховувати його деякі недоліки, зокрема: чутливість до перешкод (наприклад, теплові впливи від інших об'єктів); LM35DZ (рис. 2.3) розрахований лише на

Наступним важливим компонентом в системі контролю пожежної безпеки є датчик диму. В якості датчика диму було обрано датчик MQ-2. Це газовий датчик, який здатний вимірювати концентрацію водню, диму, вуглеводневих газів в повітрі (наприклад, метан, пропан, бутан). Головним принципом роботи даного датчика є зміна опору відповідно до концентрації газу, який він виявляє. MQ-2 складається з керамічної основи, на якій розташовані датчик із металевих оксидів, а також підсилювача сигналу.

Таблиця 2.2 – Основні характеристики датчика диму MQ-2 [21]

Характеристика	Опис
Напруга живлення	5 В
Поточне споживання	≤ 150 мА
Діапазон робочої температури	Від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$
Робочий діапазон відносної вологості	$\leq 95\%$ RH
Діаметр сенсора	16 мм
Вага	≤ 5 г
Метрологічні параметри	
Дим	20 – 1000 ‰
Водень	30 – 500 ‰
Метан	50 – 2000 ‰
Бутан	30 – 500 ‰
Пропан	20 – 500 ‰

Як видно з таблиці, датчик MQ-2 має хороші метрологічні параметри для визначення концентрації небезпечних газів у повітрі. Окрім того цей датчик швидко реагує на зміни концентрації газу та має компактний розмір, що значно полегшує його установку в протипожежних системах та забезпечує інтеграцію з іншими компонентами. Проте не варто ігнорувати і деякі аспекти, які можуть негативно вплинути на роботу MQ-2. Цей датчик буває чутливим до сторонніх факторів таких, як температура, вологість або інші гази. Також до помилкового

спрацювання датчику може призвести вплив диму від паління, пару, парфумів або інших факторів.

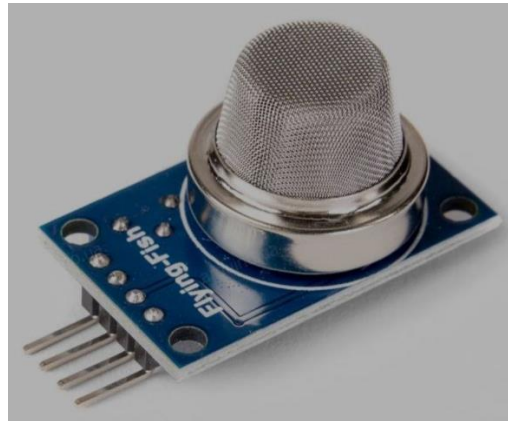


Рисунок 2.4 – Датчик диму MQ-2. Із роботи [20]

Наступним важливим елементом системи є датчик чадного газу. Для вимірювання рівня концентрації в повітрі чадного газу обрано датчик MQ-7. Датчик MQ-7 (рис. 2.4) має велику чутливість до CO, тому його можна використовувати для виявлення навіть низьких концентрацій газу. Це робить датчик дуже корисним для протипожежної системи, оскільки CO є продуктом неповного згоряння та однією з основних небезпек при пожежі.

До складу чутливого елемента давача MQ-7 входить керамічна трубка і нанесеного на неї шару діоксиду олова. В середині цієї трубки є нагрівачий елемент, за допомогою якого температура чутливого шару підвищується до значення, при якому він реагуватиме на певний тип газу.



Рисунок 2.5 – Датчик чадного газу MQ-7. Із роботи [20]

MQ-7 має два виходи: цифровий (D0) і аналоговий (A0). Цифровий вихід призначений для видачі стану логічного «0», якщо рівень концентрації газу нижчий за значення, що виставлене вбудованим потенціометром, і стан логічної «1» – якщо це значення перевищене. Значення напруги на аналоговому виході змінюється пропорційно до концентрації в повітрі чадного газу [20].

Таблиця 2.3 – Основні характеристики чадного газу MQ-7 [20].

Характеристика	Опис
Напруга живлення	5 В
Поточне споживання	≤ 150 мА
Діапазон робочої температури	Від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$
Робочий діапазон відносної вологості	$\leq 95\%$ RH
Діаметр сенсора	32 мм
Вага	≤ 10 г
Діапазон вимірювання	20-2000 ‰
Вихідний сигнал	цифровий і аналоговий
Тип компаратора	LM393

Отже, серед переваг даного датчика варто виокремити високу чутливість до CO, швидка реакція на зростання концентрації CO в повітрі, а також легкість у використанні. Датчик MQ-7 легко інтегрується з протипожежними системами і має простий інтерфейс. Проте при виборі даного датчику варто враховувати його недоліки, зокрема: MQ-7 спеціалізується лише на виявленні CO, то він не реагує на інші гази або дим; показники MQ-7 можуть змінюватись під впливом вологості і температури повітря; деякі гази, що містять серу, також негативно впливають на датчик та можуть стати причиною помилок при вимірюванні.

Наступним важливим елементом системи є інфрачервоний датчик на основі LM393. Він буде використовуватися для виявлення інфрачервоного випромінювання, тобто для виявлення джерел загорання. Основним компонентом цього датчика є інфрачервона фотодіода, яка відповідає за

виявлення інфрачервоного випромінювання, і оптичний фільтр, який захищає фотодіоду від світла видимого діапазону. Після отримання інфрачервоного випромінювання фотодіода генерує електричний сигнал, який відправляється на вхід компаратора. Компаратор порівнює вхідний сигнал з пороговим значенням. У випадку, коли вхідний сигнал більше порогового, на виході компаратора відбувається зміна стану з низького на високий.

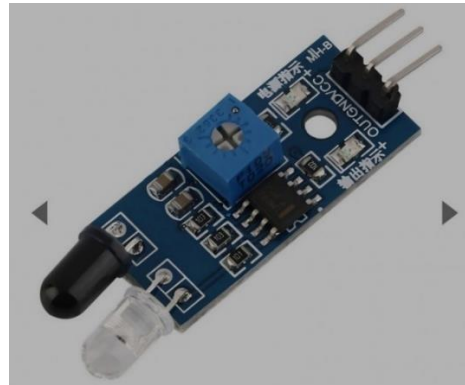


Рисунок 2.6 – Інфрачервоний датчик на основі LM393. Із роботи [21]

Серед переваг даного датчика варто виокремити: економічність; широкий діапазон застосування; висока надійність і стабільність роботи; вони чутливі до інфрачервоного випромінювання, тож випуск помилкових сигналів є дуже мало ймовірним. Окрім того ці датчики можна використовувати не лише для виявлення джерела загорання, а також для виявлення руху або присутності людей у зоні небезпеки.

Але незважаючи на ці переваги, варто враховувати наступні недоліки: інфрачервоні датчики на основі LM393 (рис. 2.6) мають обмежений діапазон виявлення, тому якщо об'єкт перебуває за межами діапазону або виділяє недостатньо інфрачервоного випромінювання, то датчик не зможе його виявити; інфрачервоні датчики чутливі до сильного штучного освітлення або сонячного світла, що призводить до помилкового спрацювання; зниження чутливості датчика через наявність фізичних перешкод (наприклад, стіни).

Для дистанційного контролю за станом датчиків було обрано модуль NodeMCU на базі мікроконтролера ESP8266MOD. Він дозволяє підключити

пристрій до локальної мережі або мережі інтернет, це дає змогу надсилати і приймати інформацію віддалено за допомогою інтернет з'єднання.

Мікроконтролер ESP8266MOD (рис. 2.7) містить інтегрований Wi-Fi-трансмійтер, що дозволяє реалізовувати бездротове мережеве з'єднання по протоколу TCP/IP. З метою підтримки Wi-Fi стеку у цьому мікроконтролері використовується мікросхема Tensilica. ESP8266 працює на частоті 80 МГц.



Рисунок 2.7 – Wi-Fi модуль NodeMCU V3. Із роботи [22]

Серед основних переваг даного модулю те, що він може отримувати живлення від кількох джерел: через вивід Vin можна подати напругу в діапазоні 5-18 В; через USB-роз'єм можна підключити живлення 5 В; через вивід 3V можна подати напругу 3,3 В [27]. Завдяки роз'єму microUSB та інтерфейсу UART-USB плату модулю можна підключити до ПК. Окрім того, NodeMCU має мікросхеми флеш-пам'яті на платі. Також даний модуль має один аналоговий вивід та одинадцять цифрових, частина з яких може виконувати додаткові функції.



Рисунок 2.8 – П'єзодинамік та модуль реле

Для сповіщення про виникнення пожежі було обрано пасивний п'єзодинамік. Звукові сигнали та дзвоники широко використовуються для передачі акустичних сигналів тривоги, особливо в системах пожежної сигналізації. Принцип роботи пасивного п'єзодинаміка полягає в коливанні мембрани, яке виникає внаслідок деформації шару п'єзоелектрика, що спричинене подачею на нього напруги. Рух цієї мембрани і викликаний ефектом конденсатора, між обкладинками якого накопичується заряд. В процесі зарядження та розрядження цього конденсатора утворюються звукові хвилі. Номінальна напруга п'єзодинаміка, який використовується в даній системі, складає 5 В. Звуковий сигнал з такою напругою є достатньо гучним для використання в системі пожежної сигналізації.

Останнім, але не менш важливим елементом, є модуль реле. Він необхідний для управління засобами пожежогасіння. В даному випадку модуль реле від Keyestudio. Реле містить два контакти, один з яких є нормально замкнутий (NC) а інший – нормально розімкнутий (NO). Крім того, до складу модуля входить захисний діод та світлодіод, який інформує про стан реле.

2.2. Програмне забезпечення

Для розробки програмного забезпечення для мікроконтролера було застосовано мову програмування – Processing, яка створена на базі спрощеного варіанту мов C/C++ та додано додаткові бібліотеки. Для написання коду було обрано середовище Arduino IDE. Arduino IDE – кросплатформний додаток, який створений на мові Java. Цей додаток містить редактор для написання коду з відповідним компілятором, а також модуль для зміни прошивки мікроконтролера.

Для отримання сповіщень в дистанційному режимі про стан пожежної безпеки обрано сервіс IFTTT, який дозволяє створити певний тригер дії та відповідні умови, щоб забезпечити виконання завдання сумісним пристроям. Цей сервіс було обрано, перш за все, через його простий принцип роботи.

Завдання в сервісі IFTTT містить дві складові – «Trigger» (тригер) і «Action» (дію). Тригер – це певна умова, при виконанні якої буде виконуватися відповідна дія. Іншими словами, «дія» буде виконуватись у випадку спрацювання «тригера».

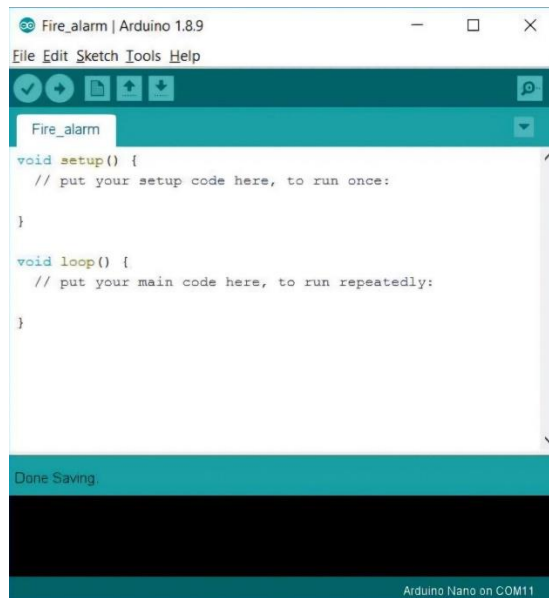


Рисунок 2.9 – Головне вікно застосунку Arduino IDE

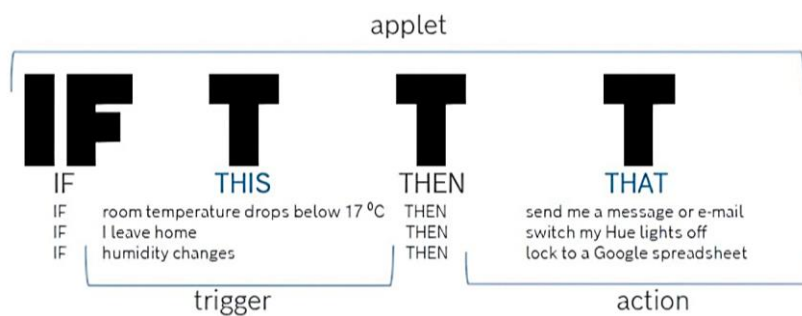


Рисунок 2.10 – Принцип роботи сервісу IFTTT

За допомогою «каналів» (фізичні пристрої або деякі мережеві сервіси, які підтримуються IFTTT) можна створювати різні варіанти дій. До кожного каналу можна підібрати певну дію та здійснити її налаштування під відповідні задачі. У нашому випадку платформа IFTTT в якості каналу буде використовувати Wi-Fi модуль NodeMCU, а в якості дії буде використано надсилання сповіщення на смартфон користувача.

2.3. Розташування датчиків у будівлі

Основний принцип вибору схеми розміщення теплових або димових пожежних сенсорів – досягнення надійного виявлення загорянь за всією контрольованою площею об'єкта. Існує два варіанти розміщення теплових і димових сенсорів у великих приміщеннях. Перший варіант – по «квадратних ґратах» (рис. 2.11), другий – по «трикутних ґратах» (рис. 2.12).

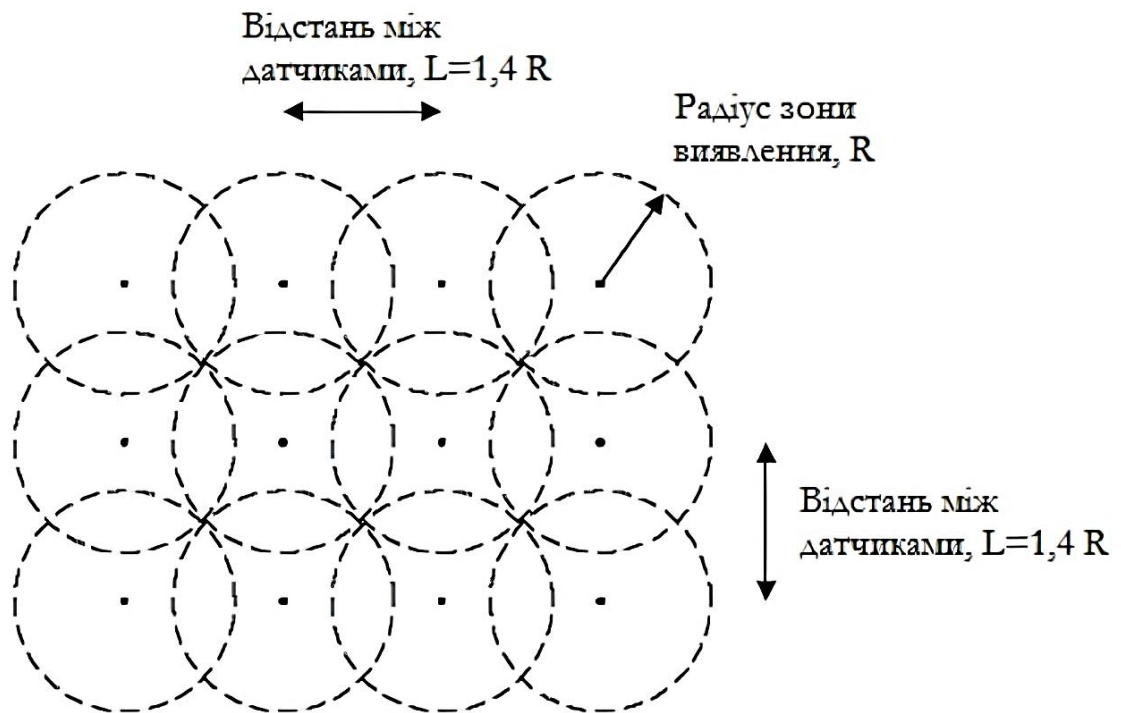


Рисунок 2.11 – Схема розміщення димових або теплових сенсорів в приміщенні по «квадратних ґратах»

Під час розміщення теплових або димових пожежних сенсорів варто враховувати, що під час збільшення відстані над осередком пожежі температура і концентрація частинок диму зменшуються. Через це відбувається зниження ефективності виявлення пожежі тепловими або димовими точковими сенсорами із зростанням висоти приміщення. Тому під час розміщення сенсорів варто враховувати максимально допустимі значення висоти стелі, а також параметри

установки різних видів пожежних сенсорів. Сенсори повинні бути встановлені на стелі так, аби частинки диму або тепловий потік змогли вільно проникати в сенсор і викликати його спрацювання.

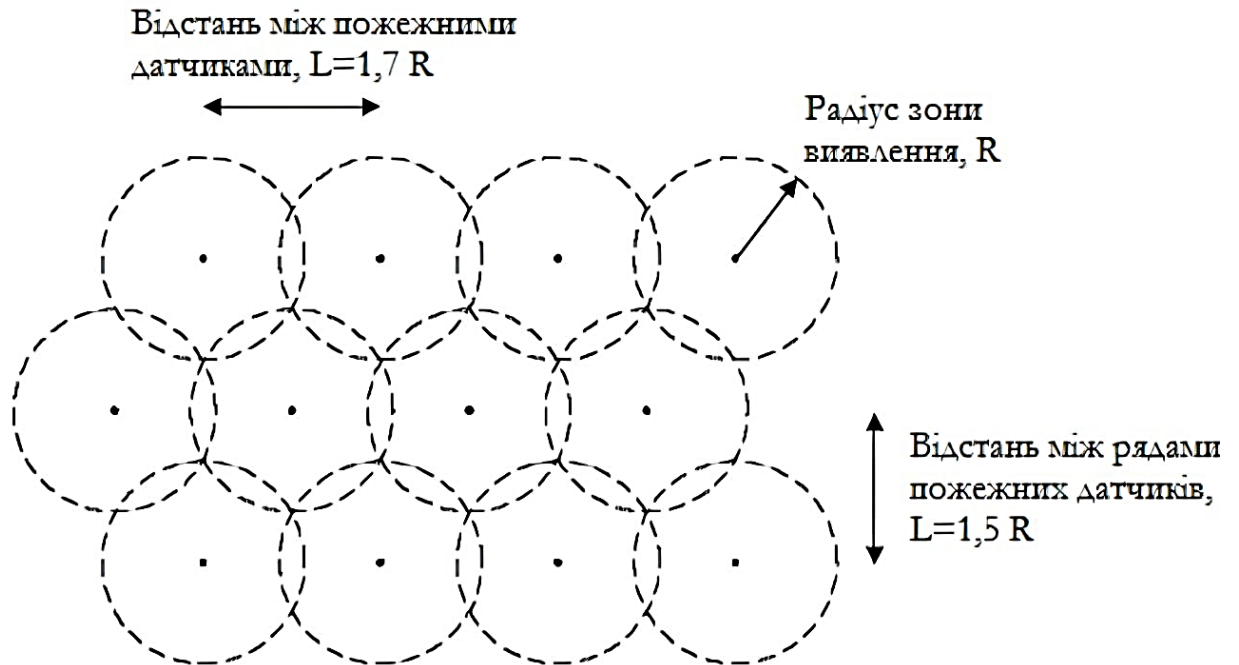


Рисунок 2.12 – Схема розміщення димових або теплових сенсорів по «трикутних ґратах»

При цьому окрім висоти варто враховувати нахил стелі. Якщо стеля загострена або має нахил, то дим буде підійматися до верхнього зводу стелі, тому верхній ряд сенсора слід розмістити на лінії зводу. При цьому варто враховувати, що нахил стелі зменшує час, за який дим або тепло поширюється до зводу. Через це контрольований параметр раніше досягає порогу спрацювання сенсорів. Тому між сенсорами, які розміщені на лінії верхнього зводу стелі можна збільшити відстань.

При цьому під час розміщення сенсорів варто враховувати наявність різних перешкод. Наприклад, якщо поширенню диму або теплових випарів заважає балка з розмірами виступаючої поверхні від 0,08 до 0,4 м, то контрольовану кожним пожежним сенсором площу, вказану в таблиці 2.4, слід зменшити на 25%.

Таблиця 2.4 – Параметри встановлення теплових і димових сенсорів [23].

Вид сенсора	Висота установки, м	Середня площа, які контролює один сенсор, м ²	Максимальна відстань, м	
			між сенсорами	від сенсора до стіни
Тепловий	До 3,5	До 25	5,0	2,5
	Від 3,5 до 6,0	До 20	4,5	2,0
	Від 6,0 до 9,0	До 15	4,0	2,0
Димовий	До 3,5	До 85	9,0	4,5
	Від 3,5 до 6,0	До 70	8,5	4,0
	Від 6,0 до 10,0	До 65	8,0	4,0
	Від 10,0 до 12,0	До 55	7,5	3,5

У випадку, коли перешкоди виступають від стелі більше ніж на 0,4 м, а ширина відсіків, які утворюються між ними, менше 0,75 м контролювана кожним пожежним сенсором площа зменшується на 40%. При цьому, якщо ширина відсіків між перешкодами 0,75 м або більше, точковий димовий або тепловий сенсор необхідно встановлювати в кожен відсік стелі.

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ПРОТИПОЖЕЖНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1. Сигналізації для промислових об'єктів

Автоматизована система протипожежної сигналізації (АСПС) призначена для раннього виявлення та оповіщення про виникнення пожежі на промисловому об'єкті, подачі сигналів для евакуації персоналу з небезпечної зони та виклику пожежно-рятувальних підрозділів. АСПС має три складові частини (підсистеми), що відрізняються виконуваними функціями [24]:

- виявлення пожежі здійснюється автоматичними пожежними оповіщувачами з різними принципами виявлення і різними методами обробки й обміну інформацією;
- обробка інформації, що надходить від оповіщувачів, і видача результатів операторові на пульт керування;
- сповіщення персоналу і пожежно-рятувальної частини для організації евакуації та швидкого усунення вогнища пожежі.

Для побудови математичної моделі необхідно однозначно визначити основні фізичні та технічні параметри, що суттєво впливають на роботу АСПС [24]. По-перше, слід визначити тривалість вільного розвитку пожежі $\tau_{в.з.}$, хв

$$\tau_{в.з.} = \tau_{в.в} + \tau_{сн} + \tau_{о.о} + \tau_{з.с} + \tau_{зб} + \tau_{пр} + \tau_{роз}, \quad (1)$$

де $\tau_{в.в}$ – час з моменту виникнення до виявлення пожежі, хв.;

$\tau_{сн}$ – час з моменту виявлення пожежі до сповіщення про неї в пожежно-рятувальний підрозділ, хв;

$\tau_{о.о}$ – час на отримання та опрацювання сповіщення про пожежу, хв. (1 хв);

$\tau_{з.с}$ – час на залучення сил для гасіння пожежі, хв. (3 хв);

$\tau_{зб}$ – час збирання особового складу, хв. (1 хв);

$\tau_{нр}$ – час, необхідний для прибуття на об'єкт пожежі пожежно-рятувальної служби, хв.;

$\tau_{роз}$ – час оперативного розгортання, хв.

Для розрахунку часу прибуття на об'єкт пожежі пожежно-рятувальної служби використовуємо співвідношення [24]:

$$\tau_{нр} = \frac{60Lk_n}{V_{руху}} \quad (2)$$

де L – відстань від пожежно-рятувальної частини до об'єкта, на якому виникла пожежа, км;

k_n – коефіцієнт, який враховує непрямолінійність вуличної мережі (за максимальне значення приймають 1,4)

$V_{руху}$ – середня швидкість руху пожежних автомобілів, км/год.

По-друге, необхідно визначити площу пожежі $S_{п}$. Для цього скористаємося залежністю тривалості вільного розвитку пожежі $\tau_{в.з.}$. Можемо записати:

$$S_{п} = \tau_{в.з.} \frac{V_{п}^2}{\xi^2} \alpha \quad (3)$$

$V_{п}$ – швидкість розповсюдження полум'я пожежі на об'єкті, м/хв.;

ξ – коефіцієнт, який враховує кількість перегородок, наявних на об'єкті;

α – кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі.

По-третє, потрібно визначити час, необхідний пожежно-рятувальному підрозділу для ліквідації пожежі:

$$\tau_{з.н} = \tau_{о.о} + \tau_{з.с} + \tau_{зб} + \tau_{сл} + \tau_{роз} + \tau_{лок} + \tau_2 + \tau_{лік}, \quad (4)$$

де $\tau_{о.о}$, $\tau_{з.с}$, $\tau_{зб}$, $\tau_{сл}$, $\tau_{роз}$ – величини, описані у співвідношенні (1);

$\tau_{лок}$ – час локалізації пожежі, хв.;

τ_2 – час гасіння пожежі, хв.;

$\tau_{лік}$ – час на кінцеву ліквідацію пожежі або остаточне гасіння, хв.

$$\tau_{лік} = 0,25(\tau_{лок} + \tau_2). \quad (5)$$

Для визначення часу локалізації пожежі можемо скористатися формулою:

$$\tau_{лок} = K_{інт} K_{\partial} K_{ств.}, \quad (6)$$

$K_{інт}$ – коефіцієнт, який враховує інтенсивність подавання вогнегасної речовини зі пожежного ствола;

K_{∂} – коефіцієнт, який враховує діаметр насадки ствола;

$K_{ств.}$ – кількість задіяних для гасіння пожежних стволів.

Після цього виконується комп'ютерне моделювання роботи АСПС з використанням додатку Simulink програмного пакету MatLab з метою оптимізації параметрів системи.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи одержано такі результати:

1. Досліджено системи моніторингу пожежної безпеки, а також методи вимірювання температури. Було охарактеризовано кожен із систем моніторингу пожежної безпеки та основні методи вимірювання температури.

2. Розглянуто структуру сенсорної системи виявлення пожежі, її апаратне забезпечення та програмне забезпечення. З'ясовано оптимальні варіанти для розміщення сенсорних датчиків виявлення пожежі у будівлі.

3. При розміщенні сенсорів варто враховувати наявність різних перешкод. Якщо поширенню диму або теплових випарів заважає балка з розмірами виступаючої поверхні від 0,08 до 0,4 м, то контрольовану кожним пожежним сенсором площу, слід зменшити на 25%. У випадку, коли перешкоди виступають від стелі більше ніж на 0,4 м, а ширина відсіків, які утворюються між ними, менше 0,75 м контрольована кожним пожежним сенсором площа зменшується на 40%.

4. Для побудови математичної моделі необхідно визначити основні фізичні та технічні параметри, що суттєво впливають на роботу автоматизованої системи протипожежної сигналізації: тривалість вільного розвитку пожежі, площа пожежі, час, необхідний пожежно-рятувальному підрозділу для ліквідації пожежі тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналітична довідка про пожежі та їх наслідки в Україні за 12 місяців 2023 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://idundcz.dsns.gov.ua/upload/2/0/1/8/2/6/2/analychna-dovidka-pro-pojeji-122023.pdf> (Дата доступу: 02.05.2024 р.).
2. Пожежна сигналізація. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mitnet.com.ua/%D0%BF%D0%BE%D0%B6%D0%B5%D0%B6%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B8%D0%B3%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D1%96%D0%B7%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F/> (Дата доступу: 02.05.2024 р.).
3. Система пожежної сигналізації. ПП Професійні системи безпеки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.prosb.org.ua/sps/> (Дата доступу: 03.05.2024 р.).
4. Насосні станції пожежогасіння. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iwt.ua/shop/nasosnyestantsiiuk/nasosnstantsiyipozhezhogasinnya-fire-set-3d/#tab-description> (Дата доступу: 02.05.2024 р.).
5. Любовецька Я.О., Шиптицька І. І., ЛДУ Б. Ефективність використання автоматичних систем пожежогасіння / Я.О. Любовецька, І.І. Шиптицька // Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції курсантів та студентів. Харків: НУЦЗ України, 2013. С. 300-301.
6. Система порошкового пожежогасіння. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://klaster.ua/ua/stati-iobzory/rznovidi-ta-zastosuvannya-sistem-avtonomnogo-pozhezhogasnnya/> (Дата доступу: 04.05.2024 р.).
7. Аерозольне пожежогасіння. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://os-plus.com.ua/services/systemy-pozhezhogasinnya/aerazolne-pozhezhogasinnya/1> (Дата доступу: 04.05.2024 р.).
8. Аерозольне пожежогасіння - принцип дії, застосування, переваги та недоліки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://montagnik.com/dovidnuk-montagnik/4658-aerazolne-pogegegasina.html> (Дата доступу: 04.05.2024 р.).

9. Спринклерна і дренчерна система пожежогасіння. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://euroservis.com.ua/ua/sprinklernaya-i-drenchernaya-sistemapozharotusheniya/> (Дата доступу: 08.05.2024 р.).
10. Прилади для вимірювання температури. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://steklopribor.com/blog/measuringinstruments/5fdc93ecde2c1d05c24642ce> (Дата доступу: 12.05.2024 р.).
11. Вимірювання температури. Рідинний термометр. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pidru4niki.com/80332/ekologiya/vimiryuvannya_temperaturi (Дата доступу: 28.04.2024 р.).
12. I-014 біметалевий термометр для димових газів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://pragmatic.com.ua/sensorshop_bi014 (Дата доступу: 28.04.2024 р.).
13. ТС-термістори. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/elektronnye-komponenty/ptc-termistory/> (Дата доступу: 28.04.2024 р.).
14. Термістор NTC 47D-15. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://artificer.com.ua/product/termistor-ntc47d-15/> (Дата доступу: 28.04.2024 р.).
15. Термопара та принципи її застосування. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.kvota.com.ua/statti/termopara/> (Дата доступу: 29.04.2024 р.).
16. Оптичний датчик E3FC-LP12 2M. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://peko.com.ua/sensors/photosensors/omron-e3fc-lp12-2m> (Дата доступу: 29.04.2024 р.).
17. ДСТУ 2858:2015 «Термоперетворювачі опору. Загальні технічні вимоги і методи випробування» / ДП «УкрНДНЦ» // ДП «УкрНДНЦ». – Київ: 2015.
18. Контролер Arduino UNO R3. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://hobbymania.com.ua/tovar.php?id_tovar=4820 (Дата доступу: 30.04.2024 р.).

19. Датчик температури аналоговий LM35DZ оригінал. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod933-datchik-temperaturi-lm35dz> (Дата доступу: 30.04.2024 р.).
20. Модуль датчика диму MQ-2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod298-modyl-datchika-dima-mq-2> (Дата доступу: 30.04.2024 р.).
21. Модуль датчика газу MQ-7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod1389-modyl-datchika-gaza-mq-7> (Дата доступу: 30.04.2024 р.).
22. Інфрачервоний датчик перешкод LM393. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://diyshop.com.ua/ua/infrakrasnyj-datchik-prepyatstvij-LM393> (Дата доступу: 02.05.2024 р.).
23. Wi-Fi модуль NodeMCU V3 ESP8266. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod1492-wi-fi-modyl-nodemcu-esp8266> (Дата доступу: 02.05.2024 р.).
24. Системи пожежної та охоронної сигналізації [Електронний ресурс]. / [Христич В. В., Дерев'янка О. А., Бондаренко С. М., Антошкін О. А.]. – Харків: АПБУ МВС України, 2008. – 87 с