

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Сумський державний університет**  
Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри КСУ

\_\_\_\_\_ Петро ЛЕОНТЬЄВ

\_\_\_\_\_ 2023 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-професійної програми

«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»

на тему: «**Комп'ютерно-інтегрована система детектування диму в виробничому приміщенні.**»

Здобувача групи СУ.м-22

Касьяненко Олексій Євгенович

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

Олексій Касьяненко

Керівник, Доцент кафедри КСУ,  
кандидат фізико-математичних

Павлов А.В.

Консультант

Суми – 2023  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

\_\_\_\_\_ Леонтєв П. В.

\_\_\_\_\_ 2023 р.

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

---

Касьяненко Олексія Євгеновича

1. Тема кваліфікаційної роботи: Комп'ютерно-інтегрована система детектування диму в виробничому приміщенні. Затверджена наказом ректора СумДУ. №1097-VI від “09” жовтня 2023 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 20 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація, список літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу тощо.
4. Зміст кваліфікаційної роботи: Аналіз предметної області, технологічна характеристика систем детектування диму і пожежогасіння, вимоги до автоматизованої системи керування системою, алгоритм роботи автоматичної системи управління, автоматизована система насосного агрегата, варіанти оптимізації різних компонентів системи, описання перехідних процесів систем, моделювання системи в середовищі Matlab, підбір та налаштування виконавчих механізмів, аналіз отриманих даних.

5. Перелік графічних матеріалів: 18 рисунка, 4 таблиці.

6. Календарний план виконання роботи

Номер Етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	13.09.2023 – 14.10.2023
2	Аналіз предметної області. Область застосування.	13.10.2023 – 15.11.2023
3	Аналіз системи детектування диму	14.11.2023 – 01.11.2023
4	Розробка автоматизованої системи системи детектування диму.	02.11.2023 – 17.11.2023
5	Вибір засобів автоматизації.	16.11.2023 – 01.12.2023
6	Моделювання системи та аналіз отриманих даних	01.12.2023 – 12.12.2023
7	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації	13.12.2023 – 20.12.2023

7. Дата видачі завдання "18" вересня 2023 р.

Керівник проекту:

Доцент кафедри КСУ,  
кандидат фізико-математичних наук

Павлов А.В.

Здобувач:

студент групи СУ.м – 22\_\_\_\_\_

Касьяненко О.Є.

## АНОТАЦІЯ

Касьяненко Олексій Євгенович. "Комп'ютерно-інтегрована система детектування диму в виробничому приміщенні". Дипломний проект. Сумський державний університет, Суми, 2023 рік.

Дипломний проект охоплює 54 сторінок пояснювальної записки, 19 рисунків, 4 таблиць та 3 схеми. Під час його розробки було використано 6 літературних джерел. Цей дипломний проект зосереджений на розробці та описі системи управління для Комп'ютерно-інтегрованої системи детектування диму в виробничому приміщенні. Було створено технічне завдання, основні технічні креслення та алгоритми роботи. У рамках проекту була розроблена система управління, призначена для використання у системах детектування диму та пожежогасіння.

Ключові слова: система керування, математична модель, детектування диму, пожежна безпека, детектори, SKADA-система.

## ABSTRACT

Oleksii Yevhenovych Kasyanenko. "Computer-integrated system of smoke detection in a production facility". Diploma project. Sumy State University, Sumy, 2023.

The diploma project includes 54 pages of explanatory note, 19 figures, 4 tables and 3 diagrams. During its development, 6 literary sources were used.

This thesis project focuses on the development and description of a control system for a computer-integrated smoke detection system in a production facility. The terms of reference, basic technical drawings and algorithms were created. As part of the project, a control system was developed to be used in smoke detection and fire extinguishing systems.

Keywords: control system, mathematical model, smoke detection, fire safety, detectors, SKADA-system.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ .....	8
1.1. Загальний опис детектора диму.....	8
1.2. Принцип роботи .....	9
1.3. Аналіз методів детектування диму.....	10
1.4. Детектори диму в системі пожежної безпеки.....	19
1.5. Конструкція датчику диму .....	20
1.6. Висновок .....	21
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	22
2.1 Оптимізація процесу детектування диму.....	23
2.2 Оптимізація процесу пожежогасіння .....	24
2.3 Вибір виконавчих механізмів.....	26
Висновок до розділу.....	33
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ.....	34
3.1. Математична модель детектування диму. ....	34
3.2. Математична модель процесу охолодження .....	37
3.3. Математична модель процесу гасіння.....	39
3.4. Математична модель визначення заходів підвищення ефективності протипожежних систем в виробничому приміщенні .....	41
3.5. Перехідні процеси в насосному агрегаті.....	43
РОЗДІЛ 4 SCADA-СИСТЕМА ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ І ПОЖЕЖОГАСІННЯ В ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕНІ .....	46
4.1. Загальна інформація про Scada-системи.....	46
4.2. Scada-система детектування диму і пожежогасіння.....	47
Висновок до розділу.....	51
ВИСНОВКИ .....	52
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>53</b>

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

АСУ – автоматизована система управління

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

АСУТП – автоматизована система управління технологічним процесом

САУ – система автоматичного управління

ОУ – об'єкт управління

СУ – система управління

ПЗО – пристрої зв'язку з об'єктом

ФСА – Функціональна схема автоматизації

ПК – пристрій керування

ВП – виконавчий пристрій

КВП – контрольно-вимірювальні прилади

АВР – автоматичне включення резерву

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

МПСА – мікропроцесорна система автоматизації

КЕ – керівництво по експлуатації

## ВСТУП

У сучасних умовах технологічного розвитку та стрімкого наукового прогресу, питання безпеки та пожежної безпеки стають все більш актуальними для виробничих підприємств. Однією з ключових складових ефективної системи безпеки є комп'ютерно-інтегрована система детектування диму в приміщенні. Мета цієї роботи полягає у розробці та вдосконаленні систем детектування диму та пожежогасіння, з акцентом на підвищення її продуктивності та ефективності для забезпечення безпеки на підприємстві. Предметом дослідження є детальний аналіз існуючих методів детектування диму та розробка нових технічних рішень для оптимізації цього процесу.

В даній роботі ми розглянемо ключові аспекти комп'ютерно-інтегрованих систем детектування диму в виробничих приміщеннях, їхню роль у забезпеченні безпеки, а також переваги, які вони можуть надати для ефективного управління пожежним ризиком. Завершальна частина роботи міститиме підсумки проведених досліджень, а також обговорення можливостей подальшого розвитку і вдосконалення систем.

## РОЗДІЛ 1 ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1. Загальний опис детектора диму

Димовий сповіщувач - це пристрій, який виявляє дим, як правило, як індикатор пожежі. Детектори диму зазвичай розміщені в пластикових корпусах, зазвичай у формі диска діаметром близько 150 міліметрів (6 дюймів) і товщиною 25 міліметрів (1 дюйм), але форма і розмір можуть варіюватися. Дим може бути виявлений або оптично (фотоелектрично), або за допомогою фізичного процесу (іонізації). Детектори можуть використовувати один або обидва методи. Чутливі сигналізатори можна використовувати для виявлення та запобігання курінню в заборонених місцях. Детектори диму у великих комерційних і промислових будівлях зазвичай підключаються до центральної системи пожежної сигналізації.

Побутові датчики диму, також відомі як димові сигналізатори, зазвичай видають звуковий або візуальний сигнал тривоги від самого датчика або декількох датчиків, якщо кілька пристроїв пов'язані між собою. Побутові детектори диму бувають від окремих пристроїв, що живляться від батарейок, до декількох з'єднаних між собою пристроїв з резервним живленням від батарейок. Якщо один із пристроїв виявляє дим, тривога спрацьовує на всіх пристроях, пов'язаних між собою, якщо один із них виявляє дим. Це відбувається навіть за відсутності електроенергії в домі.

Комерційні датчики диму надсилають сигнал на приймально-контрольний прилад пожежної сигналізації як частину системи пожежної сигналізації. Зазвичай окремі комерційні датчики диму не подають сигнал тривоги, проте деякі з них мають вбудовані звукові сповіщувачі.

Всі датчики диму повинні бути підключені безпосередньо до електричної проводки, з'єднані між собою і мати резервне живлення від батареї. Крім того, детектори диму повинні бути встановлені всередині або зовні кожної спальні, залежно від місцевих норм і правил. Детектори диму, встановлені ззовні, виявлятимуть пожежу швидше, якщо припустити, що загоряння почалося не в спальні, але звук сигналу тривоги



буде слабшим і може не розбудити когось із мешканців. У деяких районах також потрібні детектори диму на сходових клітках, у головних коридорах і гаражах.

Десяток або більше датчиків можуть бути з'єднані дротовим або бездротовим зв'язком таким чином, що в разі виявлення диму тривога спрацює на всіх датчиках у мережі, підвищуючи ймовірність того, що мешканці будуть попереджені, навіть якщо дим буде виявлено далеко від їхнього місцезнаходження. Дротове з'єднання є більш практичним у новобудовах, ніж в існуючих будівлях.

## **1.2. Принцип роботи**

Основний принцип роботи димового детектора полягає в виявленні часток диму, які можуть свідчити про можливу пожежу. Існують різні типи димових детекторів, і кожен з них використовує свої технології для досягнення цієї мети. Основні типи димових детекторів включають іонізаційні, оптичні (фотоелектричні) та термоелектричні.

### **Іонізаційні димові детектори:**

Ці детектори використовують іонізуюче випромінювання для виявлення димових часток.

Вони містять радіоактивний ізотоп америцію, який випромінює альфа-частинки в замкнутому просторі.

Коли дим входить в приміщення, він розсіює альфа-частинки, і це призводить до зменшення струму між двома електродами, що використовуються в детекторі. Зміна струму вказує на наявність диму.

### **Оптичні (фотоелектричні) димові детектори:**

Ці детектори використовують світловий промінь для виявлення диму.

У них є світлодіод і фотодетектор, розташовані на протилежних сторонах приміщення.

Коли дим потрапляє в детектор і розсіює світло, фотодетектор реагує, і це спричинює спрацювання сигналу про пожежу.

### **Термоелектричні димові детектори:**

Ці детектори використовують зміну температури для виявлення пожежі.

Вони мають термістр, який реагує на підвищення температури.

Коли температура зростає понад певний рівень, детектор вважає це підозрілим і спрацьовує.

### 1.3. Аналіз методів детектування диму

Аналіз методів детектування диму включає в себе розгляд різних технологій та підходів, які використовуються для виявлення наявності диму в приміщеннях чи на відкритих територіях. Ось деякі з них:

#### 1. Оптичні детектори:

Метод оптичних детекторів для виявлення диму базується на використанні світлового проміню, який взаємодіє з частками диму у повітрі. Цей метод використовує принцип розсіювання світла на частках, які можуть бути присутні в димовому хмарі. Оптичні детектори можуть бути використані в різних контекстах, включаючи системи безпеки та протипожежні системи. Важливими елементами цього методу є світловий джерело, детектор та аналізатор сигналу.

Основні компоненти та принцип роботи оптичних детекторів для диму:

**Світлове джерело:** Типово це може бути інфрачервоний (IR) або видимий світловий джерело, яке випромінює світло в приміщення чи на територію, яку необхідно контролювати.

**Детектор світла:** Розташований на протилежному боці від світлового джерела, детектор призначений для сприймання світлового сигналу.

**Трубопровід або камера:** Між світловим джерелом та детектором може бути розміщений трубопровід або камера, які дозволяють світловому променю пройти через контрольовану зону.

**Аналізатор сигналу:** Отримані сигнали аналізуються, і якщо виявлено розсіяне світло, це може свідчити про наявність диму.

Процес виявлення диму в оптичних детекторах може бути описаний так:

**Нормальний стан:** У нормальному стані світловий промінь іде від світлового джерела до детектора без перешкод. Система майже не реагує.

**Наявність диму:** Коли дим потрапляє в контрольовану зону, частинки диму розсіюють світло. Розсіяне світло потрапляє до детектора, і це може викликати зміну сигналу.

**Спрацювання системи:** Зміни у сигналі, виявлені детектором, можуть вивести систему в режим тривоги, активуючи подальші заходи безпеки чи пожежного захисту.

**Переваги:** Швидке реагування на наявність диму, ефективність у виявленні тонких часток.

**Недоліки:** Чутливість до пилу, можуть викликати помилкові тривоги.



## 2. Іонізаційні детектори:

Іонізаційні детектори є одним із типів димових детекторів, які використовуються для виявлення наявності диму та продуктів горіння в повітрі. Основний принцип роботи іонізаційних детекторів полягає в вимірюванні змін струму, який виникає при іонізації повітря димовими частками. Ці детектори часто використовуються в системах протипожежного захисту та безпеки.

Основні компоненти і принцип роботи іонізаційних детекторів:

**Радіоактивний ізотоп:** В багатьох іонізаційних детекторах використовується невелика кількість радіоактивного ізотопу, такого як америцій-241. Цей ізотоп випромінює альфа-частинки.

**Іонізація повітря:** Випромінювання альфа-частинок з радіоактивного ізотопу призводить до іонізації повітря вокруг детектора. Це створює пари іонів та електронів.

**Потік струму:** У наявності іонів та електронів виникає струм, оскільки іони надходять на електроди, змінюючи електричний заряд детектора.

**Виявлення змін струму:** Зміни в струмі вказують на те, що повітря в детекторі іонізується, що може бути викликано наявністю диму або продуктами горіння.

**Спрацювання тривоги:** Якщо зміни в струмі перевищують певний поріг, детектор активує сигнал тривоги, повідомляючи про можливий виникнення пожежі.

Іонізаційні детектори мають свої переваги та недоліки:

**Переваги:** Висока чутливість до продуктів горіння.

Швидка реакція на наявність диму.

Використовуються як чутливі детектори диму в багатьох типах димових сповіщувачів.

**Недоліки:** Вони можуть бути чутливі до пилу та парів, що може призводити до помилкових спрацьовувань.

Радіоактивний елемент може становити ризик для здоров'я, хоча в сучасних системах використовуються мінімальні кількості радіоактивного матеріалу.

Можливе вплив на навколишнє середовище та вимагає відповідних заходів утилізації.



### 3. Термічні детектори:

Термічні детектори є одним з типів димових детекторів, які використовуються для виявлення підвищення температури, що може вказувати на наявність пожежі. Основний принцип роботи термічних детекторів полягає в вимірюванні змін температури у середовищі, що контролюється. Ці детектори особливо ефективні для виявлення пожеж у випадках, коли дим може бути важко виявити або де важлива швидка реакція на збільшення температури.

Основні компоненти і принцип роботи термічних детекторів:

**Температурний датчик:** Детектор оснащений температурним датчиком, який вимірює температуру повітря або навколишнього середовища. Датчики можуть бути розміщені у внутрішній частині детектора або можуть бути викладені на зовнішній поверхні.

**Термічні елементи або термопари:** Деякі термічні детектори використовують термічні елементи або термопари, які генерують електричний сигнал при

підвищенні температури. Зміна температури спричинює зміну опору або генерацію електричного потенціалу.

**Електроніка обробки сигналу:** Отримані від температурного датчика сигнали обробляються електронікою в детекторі для аналізу змін температури.

**Спрацювання системи:** Якщо температура перевищує певний заданий поріг, система може спрацювати і ініціювати тривогу чи інші безпечні заходи.

Види термічних детекторів:

**Фіксовані термічні детектори:** Застосовуються у випадках, коли очікується збільшення температури в результаті пожежі. Вони можуть мати фіксований поріг температури для спрацювання тривоги.

**Рухомі термічні детектори:** Мають можливість виявлення різкого збільшення температури у конкретній області, що може вказувати на точку виникнення пожежі.

**Лінійні термічні детектори:** Використовуються для виявлення змін температури на великих ділянках і можуть бути використані для виявлення пожежі на відкритих майданчиках або в промислових об'єктах.

**Переваги:** Можливість виявлення горіння без видимого диму, менш чутливі до пилу.

**Недоліки:** Час виявлення може бути більшим, не ефективні у виявленні диму в ранніх стадіях.



#### 4. Акустичні методи:

Акустичні методи виявлення диму використовують звукові характеристики для ідентифікації наявності диму чи інших акустичних сигналів, пов'язаних із пожежею. Ці методи можуть бути ефективними виявленням пожежі, особливо там, де інші методи можуть виявитися менш ефективними. Основні компоненти акустичних систем виявлення диму включають мікрофони, аналізатори сигналів і системи сповіщення.

Основні аспекти акустичних методів виявлення диму:

**Мікрофони:** Встановлені в області, яку слід моніторити, мікрофони призначені для реєстрації звукових хвиль, які можуть виникнути в результаті диму чи інших подій, пов'язаних з пожежею.

**Аналізатори сигналів:** Отримані акустичні сигнали піддаються аналізу для виявлення характерних шаблонів або частот, які можуть вказувати на наявність диму чи інших ознак пожежі. Може використовуватися штучний інтелект або інші алгоритми обробки сигналів.

**Сповіщення та реакція системи:** Якщо аналіз сигналів підтверджує наявність диму, система може активувати сповіщення або подальші заходи безпеки, такі як включення сигналізації, виведення інформації на монітори чи інші заходи.

**Акустичні детектори руйнування:** Деякі системи включають акустичні детектори руйнування, які можуть виявляти звуки, що виникають в результаті руйнування будівельних конструкцій, що може свідчити про пожежу чи іншу небезпеку.

Переваги акустичних методів виявлення диму:

**Реакція на різні акустичні сигнали:** Метод може виявляти не тільки дим, але й інші акустичні сигнали, пов'язані зі зміною умов (наприклад, шум при обваленні конструкції).

**Низька чутливість до диму від пилю:** Може бути менш чутливим до впливу пилю, що може призводити до помилкових тривог в інших типах детекторів.

Недоліки акустичних методів виявлення диму:

**Чутливість до інших джерел звуку:** Метод може реагувати на інші джерела звуку, що може викликати помилкові тривоги.

**Вплив шуму виробництва:** В виробничих умовах може бути складно відрізнити акустичні сигнали, пов'язані з пожежею, від інших звуків, таких як шум виробництва.

## **5. Аналіз паттернів та штучний інтелект:**

Аналіз паттернів:

Аналіз акустичних паттернів:

**Виявлення диму через звук:** Використовуючи мікрофони та аналізатори звукових сигналів, можна розпізнавати характерні акустичні паттерни, які виникають від пожежі або інших небезпечних ситуацій.

Візуальний аналіз паттернів:

**Оптичне виявлення диму:** Використання камер та обробки зображень для виявлення візуальних паттернів диму, що може вказувати на пожежу.

Аналіз температурних паттернів:

**Використання термічних датчиків:** Аналіз температурних паттернів для виявлення змін, які можуть вказувати на наявність пожежі.

Штучний інтелект:

Машинне навчання:



**Навчання моделей на основі даних:** Використання алгоритмів машинного навчання для навчання моделей розпізнавати паттерни диму на основі надходжених даних.

Системи класифікації:

**Класифікація сигналів:** ШІ може використовуватися для автоматичної класифікації акустичних, візуальних або температурних сигналів, що допомагає виявляти дим або пожежу.

Аналіз в реальному часі:

**ШІ для миттєвого реагування:** Алгоритми ШІ можуть аналізувати дані в реальному часі, щоб швидко виявляти небезпеку та ініціювати відповідні заходи безпеки.

Рішення на основі знань:

**Використання експертних систем:** ШІ може включати експертні системи, які використовують знання фахівців для прийняття рішень щодо ідентифікації паттернів диму та безпекових умов.

**Переваги:** Зменшення кількості помилкових тривог, можливість виявлення аномалій в змінах поведінки системи.

**Недоліки:** Вимагає значних обчислювальних ресурсів та точної настройки.

## **6. Лазерні детектори:**

Лазерні детектори використовують принципи лазерної технології для виявлення диму чи інших продуктів горіння в повітрі. Ці детектори можуть бути ефективними

в роботі там, де інші методи можуть бути менш ефективними, або вимагається висока чутливість та точність.

Основні компоненти та принципи роботи лазерних детекторів:

**Лазерне джерело:**

Лазер випромінює тонкий інфрачервоний (ІЧ) промінь, який може пройти через повітря та інші середовища без значних втрат.

**Детектор:**

Детектор приймає відбитий ІЧ промінь. Якщо в повітрі є дим чи інші частки, вони можуть розсіяти ІЧ промінь.

**Фотодетектор:**

Фотодетектор фіксує зміни в інтенсивності ІЧ променя, спричинені розсіюванням або поглибленням світла димом чи частками горіння.

**Аналізатор сигналів:**

Сигнали від фотодетектора піддаються аналізу для визначення наявності диму. Аналізатор може використовувати порогові значення чи алгоритми для ідентифікації характерних шаблонів, що вказують на пожежу.

Переваги лазерних детекторів:

**Висока чутливість:** Лазерні детектори можуть бути дуже чутливими до навіть невеликих концентрацій диму чи часток горіння.

**Висока точність:** Здатність лазерів генерувати точний ІЧ промінь може забезпечити високу точність виявлення.

**Можливість роботи в реальному часі:** Лазерні детектори можуть швидко реагувати на зміни в повітрі та виявляти наявність диму в реальному часі.

Недоліки лазерних детекторів:

**Чутливість до пилу:** Великі концентрації пилу можуть спричинити помилкові тривоги, які можуть потребувати додаткових заходів управління чутливістю.

**Потреба у технічному обслуговуванні:** Лазерні детектори можуть вимагати регулярного технічного обслуговування та очищення для забезпечення надійної роботи.

#### **1.4. Детектори диму в системі пожежної безпеки**

Детектори диму зазвичай використовуються в комбінації з іншими механізмами пожежної безпеки для максимального захисту приміщень, а саме:

##### **Пожежні сповіщувачі (автоматичні системи оповіщення):**

Сповіщувачі можуть бути підключені до системи димових детекторів для автоматичного оповіщення людей у приміщенні про наявність пожежі.

Також можуть включати сирени, світлові сигнали і системи голосового оповіщення.

##### **Системи автоматичного гасіння пожежі:**

Коли детектор диму виявляє пожежу, може бути викликана система автоматичного гасіння пожежі, така як система спринклерів.

Системи гасіння можуть призначатися для конкретних областей або всього приміщення, залежно від конструкції та потенційної небезпеки.

##### **Системи вентиляції та димовидалення:**

При спрацюванні димових детекторів можуть включатися системи вентиляції для швидкого виведення диму з приміщення.

Це може полегшити евакуацію людей і сприяти пожежогасінню.

##### **Автоматичні системи закриття витяжок та вентиляційних отворів:**

В деяких випадках, для запобігання поширенню диму та пожежі, можуть бути включені системи автоматичного закриття вентиляційних отворів та витяжок.

### **Системи вогнегасіння поруч із об'єктами:**

В окремих випадках, додаткові системи вогнегасіння можуть бути встановлені в окремих областях або поруч із конкретними об'єктами.

### **Евакуаційні системи та електромагнітні замки:**

Детектори диму можуть бути інтегровані з системами керування доступом та евакуаційними планами, сприяючи безпечній евакуації персоналу.

## **1.5. Конструкція датчику диму**

2. **Оптичний сенсор** у датчику диму є ключовим елементом, який використовується для виявлення часток диму в повітрі. Цей сенсор також називається фотоелектричним датчиком. Оптичні датчики диму дуже ефективні та чутливі до диму, що робить їх широко використовуваними в димових детекторах.

3. **Інфрачервоні (ІЧ) сенсори** часто використовуються для виявлення теплових випромінювань, які пов'язані з вогнем. Ці сенсори реагують на інфрачервоне випромінювання, яке генерується об'єктами при високих температурах, такими як полум'я вогню. Вони можуть бути використані для виявлення наявності вогню, особливо в сценаріях, де важко виявити дим, наприклад, при вогні на відкритому повітрі.

4. **СО (оксид вуглецю) сенсори** зазвичай не входять в стандартні складові димових детекторів. Димові детектори, як правило, спеціалізуються на виявленні часток диму, які можуть бути індикатором можливої пожежі. Однак для виявлення оксиду вуглецю, який може виникнути при неповному згорянні, використовують СО-детектори.

СО є безбарвним та беззапаховим газом, тому його не можна виявити за допомогою звичайних димових детекторів. СО-детектори, зазвичай, містять спеціальні сенсори, які реагують на наявність СО в повітрі. Це може бути

електрохімічний сенсор, омічний сенсор або інші типи технологій, призначені для виявлення цього газу.

СО-детектори важливі для безпеки в приміщеннях, особливо там, де може бути використано газові прилади або в умовах, де існує ризик неповного згоряння газу.

5. **Теплові сенсори** в датчиках диму використовуються для виявлення підвищення температури, яке може свідчити про виникнення пожежі. Ці сенсори можуть бути частиною так званих термоелектричних димових детекторів. Такий тип сенсора реагує на зміни температури в навколишньому повітрі, і це дозволяє йому виявляти пожежі навіть без присутності диму.



## 1.6. Висновок

У цьому розділі була обговорена загальна інформація про детектування диму і детектори в цілому. Був проведений аналіз видів детектування диму, конструкція самого детектора, а також можливе поєднання з іншими системами пожежної безпеки.

## РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Я провів аналіз та впровадження функціональної системи автоматизації. У цьому розділі я більш детально розгляну контури системи детектування диму і системи пожежної безпеки у разі виявлення, та можливі стратегії для їх оптимізації. Мета полягає в поліпшенні продуктивності та зменшенні кількості помилкових сповіщень.

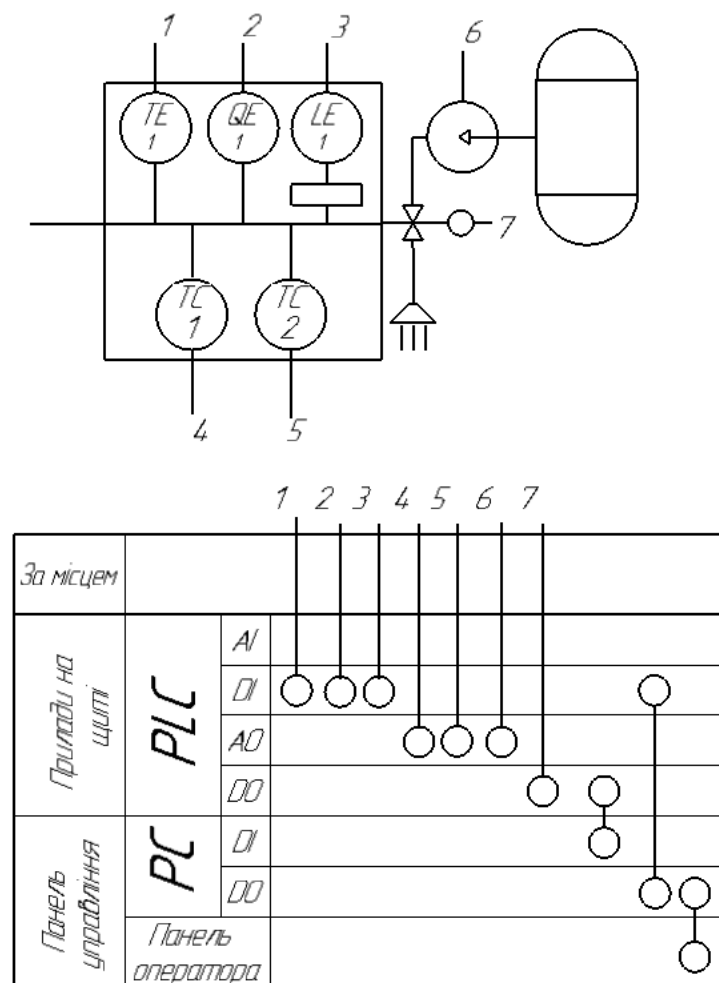


Схема 2.1 Функціональна схема автоматизації

Структурна схема створена для візуалізації системи контролю та управління процесом виявлення диму та гасіння пожежі в промисловому приміщенні. Вона

відображає взаємодії між управлінськими панелями, керуючими центрами та оперативними станціями ключового технічного обладнання, а також уточнює принцип централізованого управління об'єктом з адміністративно-технічної перспективи.

## 2.1 Оптимізація процесу детектування диму

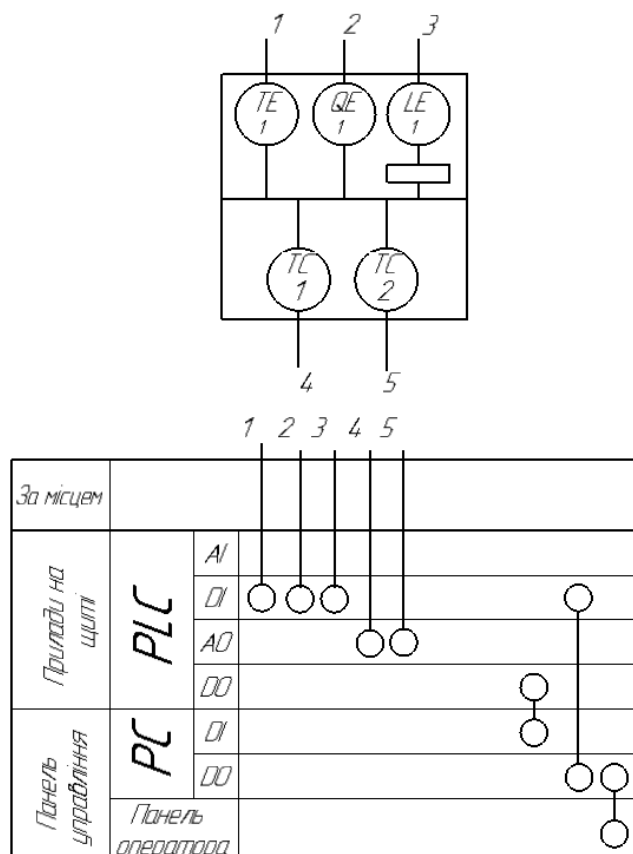


Рисунок 2.2 Система детектування диму

Оптимізація системи детектування диму спрямована на поліпшення ефективності та надійності виявлення диму в ранніх стадіях пожежі. Основна мета - забезпечити швидке та точне сповіщення про пожежну небезпеку для активування відповідних заходів захисту та виявлення пожежі на ранніх стадіях.

Для цього потрібне використання високоефективних систем детекторів диму, вогню, газів, які надійно реагують на наявність та ступінь пожежі в виробничому приміщенні.

Модуль охолодження дозволяє зберігати оптимальні температурні умови навколо датчика диму. Високі температури можуть впливати на точність роботи датчика або навіть призвести до його пошкодження. Інші чинники, такі як спалахи вогню або навколишні технічні пристрої, можуть викликати підвищення температури. Охолодження дозволяє підтримувати стабільні температурні умови, що важливо для нормальної роботи електронних компонентів, зокрема сенсорів. Стабільні умови сприяють точному виявленню диму та надійному виконанню завдань детекторів.

Пожежний сповіщувач є складовою частиною системи виявлення пожежі, що включає принаймні один чутливий елемент. Цей елемент постійно або періодично, з визначеними короткими інтервалами часу, моніторить принаймні одне фізичне і (або) хімічне явище, пов'язане з виникненням пожежі, та випромінює принаймні один відповідний сигнал на приймальноконтрольний прилад для пожежного сповіщення.

## 2.2 Оптимізація процесу пожежогасіння

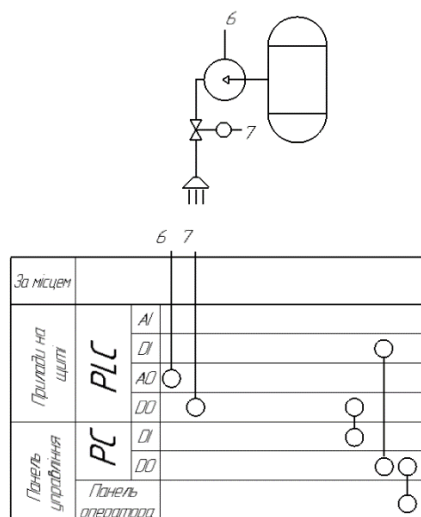


Рисунок 2.3 Система пожежогасіння

Система пожежогасіння є майже найважливішою системою в пожежній безпеці, бо звичайне сповіщення про пожежу повідомить персонал, але не застрахує виробничу техніку від браку. Тому оптимізація пожежогасіння має важливе



значення для забезпечення повноцінного захисту виробничого обладнання та матеріалів.

У контексті автоматизації та контролю орієнтується на використання сучасних технологій для ефективного та точного реагування на пожежні загрози. Це охоплює впровадження автоматизованих систем, які забезпечують автономність, точність та швидкість реакції на небезпеку. Забезпечення можливості автоматичного активування системи гасіння в разі виявлення пожежної загрози без втручання людини. Це може включати в себе використання автоматичних спринклерів, газових систем гасіння. Автоматизоване відстеження та моніторинг запасів гасильних агентів, технічного обладнання та інших компонентів системи з метою своєчасного поповнення та забезпечення готовності, а також Забезпечення ефективного гасіння пожежі з мінімальним використанням гасильного агента та мінімізацією можливих збитків від самого процесу гасіння.

Однією з найефективніших речовин, що використовуються для пожежогасіння, є Фторкетон ФК-5-1-12 (Novac 1230) або "суха вода" ( $\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$ ). Це прозора безбарвна рідина, зі слабким запахом і з вагою, що перевищує вагу води в 1,6 рази. Безліч проведених лабораторних досліджень на практиці довели ефективність використання фторкетонів, і, зокрема, Novac 1230 для боротьби з вогнем. Це ефективний діелектрик, тому електронні пристрої, вступаючи з ним у контакт, не перестають працювати. Речовина кипить при температурі  $49,2\text{ }^\circ\text{C}$ , тому вона миттєво випаровується і не залишає слідів на навколишніх предметах.

Завдяки діелектричним властивостям, "суху воду" можна використовувати для забезпечення пожежної безпеки обладнання, що працює під напругою, будь то серверне приміщення або трансформаторна. Крім того, використання Novac 1230 передбачає захист предметів, чутливих до давно застосовуваних традиційних засобів гасіння пожеж на кшталт води, піни або порошків. Будь-які паперові документи, книги, картини не піддадуться впливу під час гасіння "сухою водою". Але головним об'єктом захисту від пожеж є людина. Наведемо основні чинники, що впливають на безпеку людини у приміщенні, що захищається за допомогою

Фторкетону ФК-5-1-12: Максимально допустима концентрація (NOAEL) ФК 5-1-12 становить 10 %.

-Після використання для гасіння вогню, у приміщенні зберігається достатня концентрація повітря.

-Сама по собі речовина нетоксична, і погано розчиняється у воді .

Однак не варто зберігати речовину у відкритому вигляді через те, що її пари легко розкладаються під дією сонячного світла, ультрафіолету або при підвищенні температури з виділенням отруйних речовин, зокрема фтороводню (якщо перебуває в контакті з водяними молекулами, парами), трифтороцтової кислоти, чадного і вуглекислого газів. Зважаючи на цього під час гасіння пожежі з використанням ФК-5-1-12, для забезпечення безпеки здоров'я людини, настійно рекомендується надягати ізолюючий дихальний апарат. Крім іншого, речовини, що використовуються для гасіння пожеж, повинні відповідати екологічним стандартам, з чим Noves успішно справляється. Він має нульовий потенціал руйнування озонового шару (ODP), низький потенціал глобального потепління і розпадається в атмосфері всього через 5 днів після потрапляння в неї. Отже, використання "сухої води" не підлягає законодавчому обмеженню, і вона може застосовуватися в системах із тривалим циклом експлуатації.

## 2.3 Вибір виконавчих механізмів

Бездротовий автономний датчик чадного газу ATIS-801DW



Розроблено спеціально для виявлення чадного газу (CO) всередині приміщень. Цей датчик складається з двох основних компонентів: радіомодуля з герконом усередині і магніту, який встановлюють навпроти радіомодуля, на дверях або вікні. Коли двері або вікно відчиняються, магніт зміщується, розмикаючи контакти геркона, і радіомодуль надсилає сигнал "Тривога". Цей датчик надає надійне і важливе сповіщення в разі виявлення витoku чадного газу, що є важливою частиною забезпечення безпеки в будинку. Крім того, ATIS-801DW має світлодіоди для індикації роботи та виявлення газу, а також LCD-дисплей, який відображає рівень чадного газу в частинах на мільйон (ppm). Датчик легко встановлюється всередині приміщення і може використовуватися на більшості дверей або вікон, як у житлових, так і у виробничих приміщеннях. Він забезпечує високу акуратність і надійність у виявленні чадного газу та надає звукове сповіщення з потужністю 85 дБ. Для його роботи потрібне живлення від трьох батарейок типу 1.5 В АА, які, на жаль, не входять до комплекту постачання. Батареї забезпечують довгий термін служби, і датчик також попереджає про низьку ємність батарей за допомогою спеціального сигналу.

Індикація	Світлодіоди: робота, виявлення; LCD - рівень CO в ppm
Тип установки	Внутрішня
Акустична потужність	дБ 85
Тип оповіщення	Світлозвукове
Напруга живлення	Батарея АА - 3 шт.
Індикація батарей	Сигнал низької ємності
Розміри	мм 100 x 100 x 35
Робоча температура	°C 0 ~ +65

*Таб. 2.4 Характеристика бездротового автономного датчика чадного газу*

## Універсальний тепловий сповіщувач TUN-38Ex

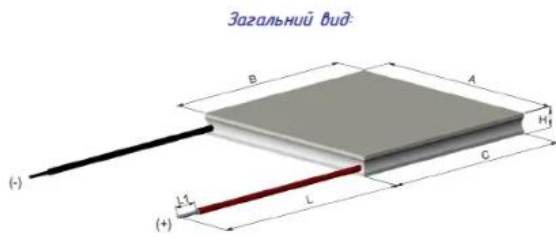


TUN-38EX призначений для виявлення швидкого підвищення температури одночасно з пожежею на ранній стадії розвитку. Детектор встановлюється належним іскрозахисним сепаратором у вибухонебезпечних зонах. У момент виникнення пожежі сповіщувач передає сигнал тривоги на прилад пожежної сигналізації.

Робоча напруга	17 В постійного струму - 24 В постійного струму
Споживання струму спокою	< 100 мкА
Струм споживання в режимі тривоги	20 мА
Діапазон робочих температур	
Відносна вологість	до 95% при 40°C
Розміри детектора з базою	55 x 63 x 112 мм
Діапазон робочих температур	від -25°C до 65°C
Вага	0,30 кг

Таб. 2.5 Характеристика Універсального теплового сповіщувача TUN-38Ex

# MT2-2,5-127GS (40x40) Термоелектрический охолоджуючий модуль Пельтье



Загальний вид:

Геометричні параметри:

Ширина (розмір A)	мм	40±0,5/-0,1
Довжина (розмір B)	мм	40±0,5/-0,1
Довжина (розмір C)	мм	40±0,5/-0,1
Товщина (розмір H)	мм	4,9±0,1
Паралельність	мм	0,05
Площиність	мм	0,05

Дроти:

Довжина дротів (розмір L)	мм	120±10
Довжина зачищеної залудженої частини дротів (розмір L1)	мм	6±0,5
Перетин дротів	мм²	0,35
Тип ізоляції дроту	—	ПВХ

Теплові та електричні параметри:

Температура гарячої сторони ( $T_h$ )	°C	27	50
Максимальна сила струму при $dT_{max}$ ( $I_{max}$ )	A	4,0	4,0
Максимальна напруга $dT_{max}$ ( $V_{max}$ )	B	14,7	16,4
Максимальна холодопродуктивність при $dT_{max} = 0$ °C ( $Q_{c,max}$ )	Вт	36,5	40,7
Максимальна різниця температур* при $Q_{c,max} = 0$ Вт ( $dT_{max}$ )	°C	72	80
Опір (R)	Ом	3,39	3,78
Максимальна робоча температура	°C	90	
Температура розплавлення	°C	138	

\* - Для негерметизованого модуля в вакуумі (епоксидна герметизація знижує  $dT_{max}$  на 1 °C, силіконова герметизація знижує  $dT_{max}$  на 2 °C).

Допуск на електричні параметри ±10 %.

Особливості:

Герметизація	Силікон
Відповідність RoHS	Так
Кераміка	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (96%)

Примітки:

- ✓ Можливе виготовлення модулів за індивідуальним технічним завданням;
- ✓ Не перевищуйте максимальну робочу температуру на поверхнях модуля;
- ✓ Не перевищуйте  $I_{max}$  або  $V_{max}$  під час роботи з модулем;
- ✓ Дотримуйтесь вимог щодо установки модуля, щоб уникнути його пошкодження;
- ✓ Дотримуйтесь вимог щодо транспортування та зберігання модуля, щоб уникнути його пошкодження.

Термоелектричні модулі Пельтье застосовуються для охолодження різних об'єктів в радіоелектроніці, в автомобілебудуванні, в медицині, в оптоелектроніці, в лазерній техніці і т.д.

Принцип дії термоелектричного модуля (ТЕМ) заснований на ефекті Пельтье - виникненні різниці температур на спаях двох неоднорідних провідників при протіканні через них електричного струму. При проходженні через ТЕМ постійного електричного струму утворюється різниця температур між його сторонами: одна сторона охолоджується, а інша нагрівається.

Тип модуля	MT2-2,5-127GS
Розміри ДхШхВ, мм	40x40x4,9
$I_{max}$ , А	4,0
$Q_{max}$ , Вт	36,5
$V_{max}$ , В	14,7

$\Delta T_{max}, ^\circ K$	72
----------------------------	----

Таб. 2.6 Характеристика термоелектричного охолоджуючого модуля Пельтьє

### Димовий пожежний сповіщувач CV-212-12



**Сигналізатор диму CV-212-12** з 10-ти річною вбудованою літєвою батареєю є компонентом системи пожежної безпеки і призначений для раннього виявлення вогнищ загорянь всередині приміщень. При появі диму пристрій видає миготливий світлодіодний оптичний сигнал, а також звукову сирену змінного тону. Сигналізатор працює в автономному режимі і живиться від незнімної вбудованої іонно-літєвої батареї напругою 3 В. Принцип дії сигналізатора заснований на контролі оптичної щільності навколишнього середовища. Сигналізатор являє собою конструкцію, що складається з:

електронного блоку управління сигналами, захисної сітки і оптичної системи в суцільному корпусі;

бази живлення з іонно-літєвою батареєю, яка з'єднується з електронним блоком за допомогою пари роз'ємів. Сигналізатор може працювати незалежно або експлуатуватися в локальній мережі автономної пожежної сигналізації. В

останньому випадку пристрої за допомогою двопровідної лінії з'єднуються в групу. У разі спрацювання одного з них, вся група приладів видає звуковий сигнал.

Пожежна сигналізація	Автономна
Напруга живлення	3 В
Мін. робоча температура	-10 С
Макс. робоча температура	+50 С
Гучність звукового сигналу	85.0 дБ на відстані 1м
Захищувана площа	60 м2
Елемент живлення	не з'ємний, літєвий
Розмір	Глибина: 11.00см x Ширина: 11.00см x Висота: 6.00см
Вага	100.00г

Таб. 2.6 Характеристика Сигналізатору диму CV-212-12

### Електромагнітний клапан 31A2AV30 1/4"



Клапан електромагнітний (соленоїдний) ODE 31A2AV30 1/4" - це клапан, який призначений для автоматичного перекриття/відкриття потоку робочого середовища в трубопроводі за допомогою плунжера, що піднімається/опускається від впливу сили електромагнітного поля на електричній котушці (соленоїді). Як робоче середовище може використовуватися гаряча вода, повітря з маслами, бензин, дизпаливо, нафтопродукти тощо.

Модель 31A2AV30 є нормально закритим (НЗ) триходовим клапаном прямої дії. За відсутності напруги в котушці клапан перебуває в закритому положенні, а коли напруга з'являється він переходить у відкрите положення. Оскільки цей клапан прямої дії, то відкриття відбувається виключно від впливу електромагнітного поля котушки. Ця конструкція підвищує надійність роботи клапана і не вимагає необхідності перепаду тиску між входом і виходом як у випадку з моделями клапанів непрямої дії.

Корпус електромагнітного клапана ODE 31A2AV30 виготовлено з латуні, а ущільнення - з фтореластомеру, вітону (FKM). Максимальний діапазон робочих температур для клапана з ущільненням з FKM становить від  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+140^{\circ}\text{C}$  за максимального тиску на вході не більше 40 бар.

### Насос БГ11-22а



Шестерневий насосний агрегат БГ11-22а призначений для нагнітання робочої рідини в технологічному устаткуванні та гідравлічних системах під високим тиском.

Під час експлуатації БГ11-22а важливо дотримуватися певних обмежень і вимог.

Робоча рідина повинна відповідати наступним вимогам:

-Кінематична в'язкість повинна бути в межах від 17 до 400 мм<sup>2</sup>/с.



-Температура використовуваної робочої рідини повинна знаходитися в інтервалі від 10 до 55 °С.

-Тонкість фільтрації (номінальна) повинна становити 40 мкм.

Загальна конструкція насоса БГ11-22а включає такі основні компоненти:

-Шестерневий насос.

-З'єднувальна гнучка муфта.

-Електродвигун.

### **Висновок до розділу**

У цьому розділі було виявлено ключові аспекти для забезпечення ефективності та надійності системи безпеки. Інтеграція вискоефективних технологій та вдосконалення стратегій гасіння сприяють створенню комплексних рішень для пожежної безпеки в промислових об'єктах. Оптимізація вибору виконавчих механізмів визначає успішну функціональність та взаємодію всієї системи.

## РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КЕРУВАННЯ

Якість детектування диму і ефективність пожежогасіння значно залежать від правильної оптимізації роботи підібраних механізмів та систем безпеки. Забезпечення найвищого рівня безпеки вимагає комплексного підходу та урахування різноманітних факторів.

Оптимізація включає в себе правильний вибір інструментів для виявлення диму, таких як димові детектори з різними типами сенсорів (оптичні, іонізаційні, теплові тощо), які забезпечують реагування на різні види загроз та умови.

Однак оптимізація не обмежується лише вибором детекторів. Ефективна робота системи також включає в себе належне розташування датчиків, врахування особливостей приміщення та його функціонального призначення. Важливо також забезпечити взаємодію димових детекторів з іншими системами пожежної безпеки, такими як автоматичні спринклери, вентиляційні системи та евакуаційні шляхи.

Правильно налаштовані параметри системи гасіння пожежі, такі як тип та кількість вогнегасників, аерозольні системи або системи CO<sub>2</sub>, також визначають загальну ефективність протипожежного захисту.

Для цього були розроблені математичні моделі кожного процесу в системі, щоб детально вивчити характеристики кожного компонента системи та їх взаємодію в різних умовах.

З використанням математичних моделей можливо точно прогнозувати реакцію системи на різноманітні сценарії та регулювати параметри для досягнення оптимальних результатів. Наприклад, моделі пожежогасіння дозволяють визначити оптимальний момент активації системи гасіння та розподіл ресурсів для максимально ефективного пригнічення вогню.

### **3.1. Математична модель детектування диму.**

Існуючі теплові пожежні сповіщувачі (ТПС) будуються на основі різних фізичних принципів, що призводить до використання різних чутливих елементів (далі - ЧЕ) . Зазвичай ЧЕ ТПС мають форму прямокутної пластинки, циліндра або шару. Теплові

процеси, які відбуваються в кожному з них, можуть бути описані за допомогою диференціальних рівнянь. Проте, наразі відсутня математична модель ТПС з узагальненим ЧЕ.

Розглянемо загальний випадок для узагальненого ЧЕ, коли він може мати форму прямокутної пластинки, циліндра або шару. Припустимо, що на ТПС з узагальненим чутливим елементом діє зовнішній тепловий вплив у вигляді стаціонарного теплового потоку. У такому випадку температура узагальненого ЧЕ ТПС  $T(r,t)$  може бути описана відповідним рівнянням.

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = a \left[ \frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2\nu+1}{r} \cdot \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right] - m^2 [T(r,t) - T_0]$$

з початковими та граничними умовами

$$T(r,0) = T_0; \quad \lambda \frac{\partial T(R,t)}{\partial r} = q,$$

де  $a$  – коефіцієнт теплопровідності;  $\lambda$  – теплопровідність матеріалу чутливого елемента;  $T_0$  – температура чутливого елемента у початковий момент часу;  $R$  – характерний розмір чутливого елемента;  $\nu$  – параметр, що характеризує форму чутливого елемента ( $\nu = -0,5$  – для пластини,  $\nu = 0$  – для циліндра,  $\nu = 0,5$  – для шару);  $m$  – параметр, що визначається з виразу.

$$m^2 = \frac{2\alpha}{c\rho R};$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт теплопередачі;  $c, \rho$  – питома теплоємність та густина матеріалу чутливого елемента.

Введемо позначення

$$T(r,t) - T_0 = \theta(r,t) = M(r,t) \exp(-m^2 t),$$

внаслідок чого рівняння та умов трансформується до виду

$$\frac{\partial M(r,t)}{\partial t} = a \left[ \frac{\partial^2 M(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2v+1}{r} \frac{\partial M(r,t)}{\partial r} \right];$$

$$M(r,0) = 0; \quad \lambda \frac{\partial M(R,t)}{\partial r} = q \exp(m^2 t).$$

Для розв'язання рівняння застосуємо до нього інтегральне перетворення

$$\bar{M}(\mu_n, t) = \int_0^R r^{v+1} J_v \left( \frac{\mu_n r}{R} \right) dr,$$

Де  $J_v \left( \frac{\mu_n r}{R} \right)$  функція Бесселя  $v$ -го порядку;  $\mu_n$  –  $n$ -й корінь трансцендентного рівняння

$$J_{v+1}(\mu) = 0,$$

внаслідок чого отримаємо

$$\frac{d\bar{M}(\mu_n, t)}{dt} + a \left( \frac{\mu_n}{R} \right)^2 \bar{M}(\mu_n, t) = \frac{aqR^{2v+1}}{\lambda \mu_n^v} J_v(\mu_n) \exp(m^2 t).$$

Після застосування до інтегрального перетворення Лапласа, результат розв'язання отриманого диференціального рівняння можна записати наступним чином

$$\begin{aligned} \tilde{M}(\mu_n, p) &= \int_0^\infty \bar{M}(\mu_n, t) \exp(-pt) dt = \\ &= \frac{aqR^{2v+1}}{\lambda \mu_n^v} J_v(\mu_n) \left[ (p - m^2) \left[ p + a \left( \frac{\mu_n}{R} \right)^2 \right] \right]^{-1}, \end{aligned}$$

де

$p$  – комплексне число.

Урахувавши, що має місце

$$\bar{f}_1(\mu_n, t) = L^{-1} \left[ (p - m^2)^{-1} \right] = \exp(m^2 t);$$

$$\bar{f}_2(\mu_n, t) = L^{-1} \left[ \left[ p + a \left( \frac{\mu_n}{R} \right)^2 \right]^{-1} \right] = \exp \left[ -a \left( \frac{\mu_n}{R} \right)^2 t \right].$$

Тоді у відповідності до теореми Бореля о свертке можна записати

$$\bar{M}(\mu_n, t) = \frac{aqR^{2\nu+1}}{\lambda\mu_n^\nu} J_\nu(\mu_n) \int_0^t \bar{f}_1(\mu_n, \tau) \bar{f}_2(\mu_n, t - \tau) d\tau,$$

що з урахуванням приведе до наступного результату

$$\bar{\theta}(\mu_n, t) = \frac{aqR^{2\nu+1} J_\nu(\mu_n)}{\lambda\mu_n^\nu \left[ m^2 + a \left( \frac{\mu_n}{R} \right)^2 \right]} \left[ 1 - \exp \left[ - \left[ m^2 + a \left( \frac{\mu_n}{R} \right)^2 \right] t \right] \right],$$

де  $\theta(\mu_n, t)$  – результат застосування функції  $\theta(r, t)$  інтегрального перетворення виду.

### 3.2. Математична модель процесу охолодження

Відомо що температура фізичного тіла залежить від кількості наданої йому теплоти і визначається співвідношенням.

$$Q = C \cdot T,$$

де  $Q$  – кількість теплоти,  $T$  – абсолютна температура тіла,  $C$  – теплоємність тіла.

Теплоємність тіла та теплота проявляють аддитивні властивості, що означає, що у випадку, якщо фізичне тіло складається з різних частин з різною масовою часткою, вираз для обчислення сумарної теплоємності буде мати вигляд

$$C = \sum_{i=1}^n c_i \cdot m_i,$$

де  $c_i$  – питома теплоємність фрагменту тіла,  $m_i$  – маса фрагменту тіла.

$$Q = \sum_{j=1}^k \Delta Q_j,$$

де  $\Delta Q_j$  – частина теплоти яка надана або забрана в фізичного тіла.

Позитивним фізичним явищем в теплових процесах є властивість теплопередачі, що представляє собою кількість теплоти, яка може передаватися через тіло, виступаючи як термоінтерфейс або іншим чином – теплопередавачем.

$$\Delta Q = \lambda \cdot \frac{S}{L} \cdot \Delta T,$$

де  $\lambda$  – це коефіцієнт теплопровідності,  $S$  – контактна площа теплопередавача,  $L$  – товщина термоінтерфейсу,  $\Delta T = T_2 - T_1$  – різниця температур на сторонах теплопередавача.

Диференціальні рівняння, що описують кількість теплоти, що знаходиться у приладі мають вигляд

$$\frac{dQ}{dt} = \sum_{i=1}^n K_i \cdot S_i \cdot (T_i - T_0),$$

де  $K_i$  – коефіцієнт теплопередачі,  $S_i$  – площа теплового контакту тіла з джерелом теплоти,  $T_0$  – температура тіла,  $T_i$  – температура джерела теплоти.

У зв'язку з невизначеністю теплових характеристик корпусу відсіку (таких як теплоємність, коефіцієнти теплопровідності, джерела теплоти тощо), а також у зусиллях спростити математичну модель, ми розглядатимемо відсік як тіло з нескінченною теплоємністю, яке має фіксовану температуру у діапазоні +10°C до +30°C. У зв'язку з відсутністю активної конвекції всередині відсіку, тепловими втратами через контакт поверхні приладу з повітрям всередині відсіку можна пренебрегти.

Оскільки нагрівач розташований всередині конструкції приладу, ми також можемо знехтувати процесами теплопередачі всередині приладу на першому етапі побудови математичної моделі та враховувати лише кількість виділеної ним теплоти.

Характерною особливістю роботи елемента Пельтьє як теплового насосу є те, що кількість перенесеного тепла пропорційна струму, але значно залежить від різниці температур між його поверхнями. Згідно з технічним описом елемента Пельтьє типу ТЕС1-12712 при струмі 5А (споживана потужність 120 Вт), лінійно апроксимована залежність теплоти, яку може переносити елемент, від різниці температур має такий вигляд

$$dQ = -1.09 \cdot (T_2 - T_1) + 59.8.$$

А сам елемент Пельтьє має власну теплопровідність і виступає в якості термоінтерфейсу.

В процесі активної роботи обладнання також виділяє певну кількість теплоти, яке може досягати 50 Вт/с.

### **3.3. Математична модель процесу гасіння**

У початковій фазі визначаємо площу пожежі за час її вільного розвитку, ґрунтуючись на основних принципах теорії поширення пожежі. Протягом перших 10 хвилин розповсюдження пожежі, швидкість її розгортання складає  $0,5V_{л}$ , де  $V_{л}$  - лінійна швидкість розповсюдження пожежі у метрах за хвилину. Після цього періоду (понад 10 хвилин) швидкість поширення пожежі становить  $V_{л}$ . У даному випадку:

$$\tau_{г.г} = \tau_{г.г.1} + \tau_{г.г.2},$$

де  $\tau_{г.г.1} \leq 10$  хв;  $\tau_{г.г.2} > 10$  хв.

Тоді радіус розповсюдження пожежі відповідно буде

$$R = R_1 + R_2.$$

За такої умови площа кругової або кутової пожежі за час тв.г  $\leq 10$  хв буде

$$S_{пл} = 0,25V_{г.г}^2 \tau_{г.г.1}^2 \alpha,$$

де  $\alpha$  – кутовий коефіцієнт, який враховує форму пожежі: кругова  $360^\circ - \alpha = 3,14$  рад.; кутова  $180^\circ - \alpha = 1,57$  рад.; кутова  $90^\circ - \alpha = 0,785$  рад.

Площа кругової або кутової пожежі за умови тв.г  $> 10$  хв буде

$$S_{пл} = [0,25V_{г.г}^2 \cdot 10^2 + (\tau_{г.г} - 10)^2 V_{г.г}^2] \alpha = [25 + (\tau_{г.г} - 10)^2] V_{г.г}^2 \alpha.$$

Для прямокутної пожежі при її ширині  $b_n$  за умови, що тв.г  $\leq 10$  хв площа пожежі буде

$$S_{пл} = 0,5b_n V_{г.г} \tau_{г.г.1}.$$

У випадку, коли тв.г  $> 10$  хв, площа прямокутної пожежі буде

$$S_{пл} = b_n V_{г.г} (\tau_{г.г} - 5).$$

На другому етапі визначаємо кількість приладів для подачі вогнегасної речовини в осередок пожежі. Для цього скористаємося залежностями які використовуються для визначення необхідної кількості пожежних стволів без урахування надійності роботи системи пожежогасіння об'єкта. З урахуванням імовірності безвідмовної роботи  $R_c(\tau)$ .

Кількість пожежних стволів визначаємо за залежностями



$$N_{A_H} = \frac{N_A}{R_c(\tau)}; N_{B_H}^{\Gamma} = \frac{N_B^{\Gamma}}{R_c(\tau)}; N_{B_H}^3 = \frac{N_B^3}{R_c(\tau)}.$$

Значення кількості кожного ствола заокруглюють до цілого числа в більшу сторону. На підставі отриманих даних визначаємо загальну кількість стволів  $N_{\Sigma}$  і стволів  $B_{H_N}$  для ліквідації пожежі.

$$N_{\Sigma} = N_{A_H} + N_{B_H}^{\Gamma} + N_{B_H}^3;$$

$$N_{B_H} = N_{\Sigma} - N_{A_H}.$$

### **3.4. Математична модель визначення заходів підвищення ефективності протипожежних систем в виробничому приміщенні**

Створення математичної моделі оптимізації для визначення методів та засобів протипожежного захисту для об'єкта з урахуванням припустимого рівня пожежного ризику.

Функція мети

$$\varepsilon_o \Rightarrow \min \leq [\varepsilon_o];$$

за критерієм

$$B = Z_o + B_o \Rightarrow \min;$$

за обмеженнями

$$a_1 \leq \delta_{n.c} \leq b_1;$$

$$a_2 \leq \delta_{n.o} \leq b_2;$$

$$a_3 \leq \delta_{n.z} \leq b_3;$$

$$a_4 \leq \delta_{c.z} \leq b_4;$$

$$p \geq [p],$$

де  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – мінімальні значення обмежень;  $b_1, b_2, \dots, b_4$  – максимальні значення обмежень;  $p$  – імовірність потрапляння досліджуваної  $i$ -ї точки в область допустимих розв'язків ( $p \leq N^{-k}$ , де  $k$  – кількість циклів роботи програми, при яких досліджувані точки потрапили в область допустимих розв'язків;  $N$  – загальна кількість циклів роботи програми);  $[p]$  – допустиме значення імовірності, від значення якого залежить кількість досліджень для прийняття оптимального значення.

Значення обмежень  $a_1, a_2, a_3, a_4$  можна приймати однаковими і такими, що дорівнюють одиниці. Такий підхід до прийняття такого значення можна обґрунтувати тим, що мінімальне значення цих коефіцієнтів в обмеженнях буде в тому випадку, коли встановлена в цеху кількість протипожежних засобів відповідає нормативним вимогам. За аналогією приймаємо максимальне значення обмежень  $b_1, b_2, b_3, b_4$  такими, що дорівнюють 15.

Для розв'язування оптимізаційної моделі скористаємося методом Монте-Карло. Область допустимих розв'язків, яка визначається обмеженнями, оточують  $t$ -мірним паралелепіпедом, у якому

проводимо дослідження. Поставлену задачу найкраще розв'язувати з використанням комп'ютера. За допомогою давача комп'ютера утворюють послідовність псевдовипадкових чисел  $\mu_{ji}$  в інтервалі  $0 \dots 1$ . Для перетворення псевдовипадкових чисел  $\mu_{ji}$ , які рівномірно розподілені в інтервалі  $0 \dots 1$ , до значень  $\delta_i$  використовуємо залежності виду, наприклад, для  $\delta_{п.с.i}$

$$\delta_{n.c.i} = a_1 + \mu_{li}(b_1 - a_1),$$

де  $\mu_{li}$  – псевдовипадкове число для визначення чинника дп.с.і на певному ітому циклі розрахунку.

У процесі розрахунку на кожному циклі роботи програми визначаємо значення  $\epsilon_0$  за залежністю та критерії  $Z_0$  і  $V_0$ , які порівнюємо зі значеннями попереднього циклу. Ці процедури виконуємо доти, доки буде виконана умова. Після завершення роботи програми на друк видаються такі дані:  $\epsilon_0$ , тв.г, СП до і після впровадження протипожежних засобів;  $V_{сл}$ , тсл, тлок, тг, тлік, р; типи протипожежних засобів, їх вартість і кількість та загальні додаткові витрати на їх придбання.

### 3.5. Перехідні процеси в насосному агрегаті

Основне рівняння руху електропривода

$$J \frac{d\omega}{dt} = M - M_c = M_{дин}.$$

В залежності від закону зміни динамічного моменту механічні перехідні процеси розрізняються на процеси, в даному випадку прискорення системи залишається незмінним.

$$\epsilon = \frac{M - M_c}{J} = \frac{M_{дин}}{J}.$$

Вирішення рівняння за умови незмінних значень  $M$ ,  $M_c$ ,  $J$  дозволяє отримати закон зміни швидкості в ході перехідного процесу

$$J d\omega = (M - M_c) dt \Rightarrow d\omega = \frac{M - M_c}{J} dt \Rightarrow d\omega = \epsilon dt \Rightarrow$$

$$\int_{\omega_{поч}}^{\omega} d\omega = \epsilon \int_0^t dt \Rightarrow \omega - \omega_{поч} = \epsilon t \Rightarrow$$

$$\omega = \omega_{поч} + \epsilon t = \omega_{поч} + \frac{M - M_c}{J} t.$$

Згідно швидкість лінійно залежить від часу. Якщо відоме початкове та кінцеве значення швидкості, то знаходиться час перехідного процесу

$$t_{\text{пр}} = \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{\varepsilon} = J \frac{\omega_{\text{кін}} - \omega_{\text{поч}}}{M - M_c}.$$

Закон зміни положення визначається з урахуванням на основі рівняння для кута

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega \Rightarrow \int_{\varphi_{\text{поч}}}^{\varphi} d\varphi = \int_0^t \omega dt \Rightarrow \int_{\varphi_{\text{поч}}}^{\varphi} d\varphi = \int_0^t \omega_{\text{поч}} dt + \varepsilon \int_0^t t dt \Rightarrow$$

$$\varphi = \varphi_{\text{поч}} + \omega_{\text{поч}} t + \varepsilon \frac{t^2}{2} = \varphi_{\text{поч}} + \omega_{\text{поч}} t + \frac{M - M_c}{J} \frac{t^2}{2}.$$

Для одночасного відображення перебігу електромагнітних і електромеханічних процесів та їхнього взаємного впливу, що має важливе значення в дослідженні стійкості роботи СЕП, при розв'язанні системи рівнянь необхідно також урахувати те з них, яке характеризує рух ротора функцією кута

$$\gamma = \omega t + \gamma_0:$$

$$M_{\text{мх}} - M_{\text{ел}} = J d\omega / dt,$$

де  $M_{\text{мх}}$  – гальмівний момент механічних сил;  $M_{\text{ел}} = 1,5 n ( ) dq qd \rho - - \psi \psi i i$  – електромагнітний момент у системі координатних осей  $d q$ , , прикладений до ротора машини ( $\rho n$  – число пар полюсів);  $J$  – момент інерції обертових частин.

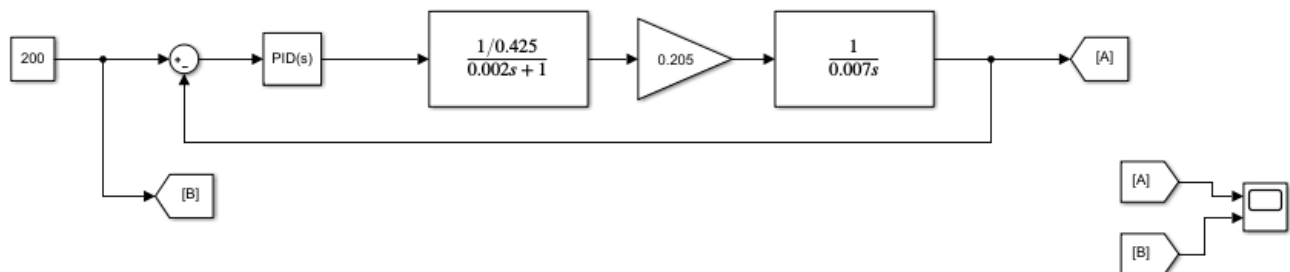
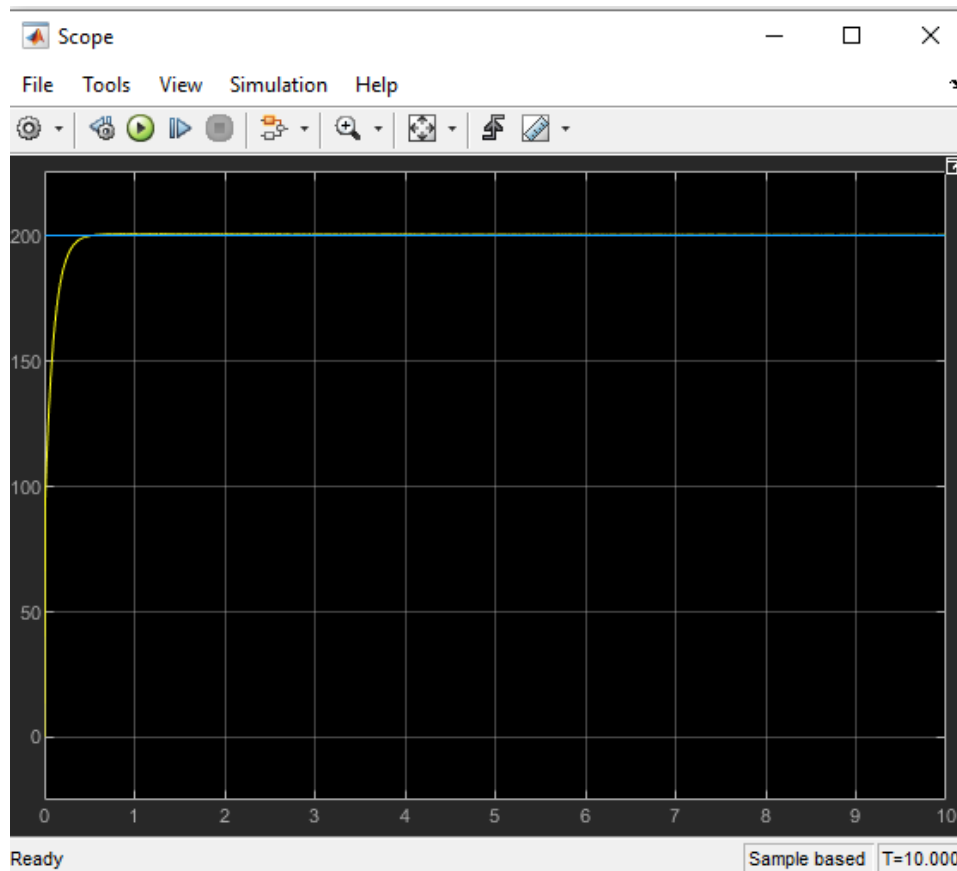


Рис. 3.1 Моделювання перехідного процесу у MathLab

Після моделювання перехідного процесу в MATLAB для механічного впливу на насос і магнітного ротора, можна провести аналіз стійкості системи.



*Рис 3.2 Визначення стійкості системи*

Як бачимо, система швидко реагує на сигнал, і являється стійкою, майже відсутнє перерегулювання.

### **Висновок до розділу**

У даному розділі було визначено математичні моделі системи виявлення диму, охолодження, гасіння та підвищення ефективності систем безпеки виробничих приміщень, що надає обґрунтовані підходи до оптимізації та розробки ефективних систем протипожежного захисту. Моделі дозволяють проводити ретельний аналіз та вдосконалення кожного етапу для досягнення максимального рівня безпеки та захисту.

## РОЗДІЛ 4 SCADA-СИСТЕМА ДЕТЕКТУВАННЯ ДИМУ І ПОЖЕЖОГАСІННЯ В ВИРОБНИЧОМУ ПРИМІЩЕНІ

### 4.1. Загальна інформація про Scada-системи

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) є програмним комплексом, розробленим для виконання завдань зі збору, оброблення, візуалізації та архівування інформації про об'єкт моніторингу або управління у реальному часі. Це програмне забезпечення може входити до складу систем автоматизації технологічних процесів (АСУ ТП), автоматизованих систем керування об'єктами електроенергетики (АСКОЕ), систем екологічного моніторингу, наукових експериментів, автоматизації будівель тощо. SCADA-системи використовуються у всіх галузях, де необхідно забезпечити операторський контроль за технологічними процесами.

Зазвичай SCADA є складовою частиною систем автоматизації технологічних процесів, диспетчерських систем, які відповідають за моніторинг технологічних параметрів та дистанційне управління обладнанням.

Основні функції HMI SCADA включають:

#### **Збір даних та дистанційне керування обладнанням:**

-Отримання інформації від апаратури процесу та виконання дистанційного управління обладнанням.

-Підтримка бази даних у режимі реального часу.

#### **Створення графічного інтерфейсу для оператора:**

-Розробка зручного графічного інтерфейсу для моніторингу та керування процесом.

-Витяг інформації з бази даних і її подання оператору для подальшого аналізу.

#### **Автоматизація робочих процесів прийняття рішень оператором:**

Забезпечення автоматизованого виконання операцій та прийняття рішень оператором.

**Розрахунок показників ефективності виробництва:** Обчислення вторинних показників ефективності, статистики ходу процесу та роботи обладнання.

**Функції керування:** Виконання операцій керування, таких як блокування та некритичне регулювання.

**Генерація тривог і повідомлень:** Автоматичне створення тривог та повідомлень для оператора.

**Підготовка документації:** Формування рапортів, зведень, звітів та іншої експлуатаційної документації.

**Архівування історії:** Зберігання історії подій, тривог та дій оператора.

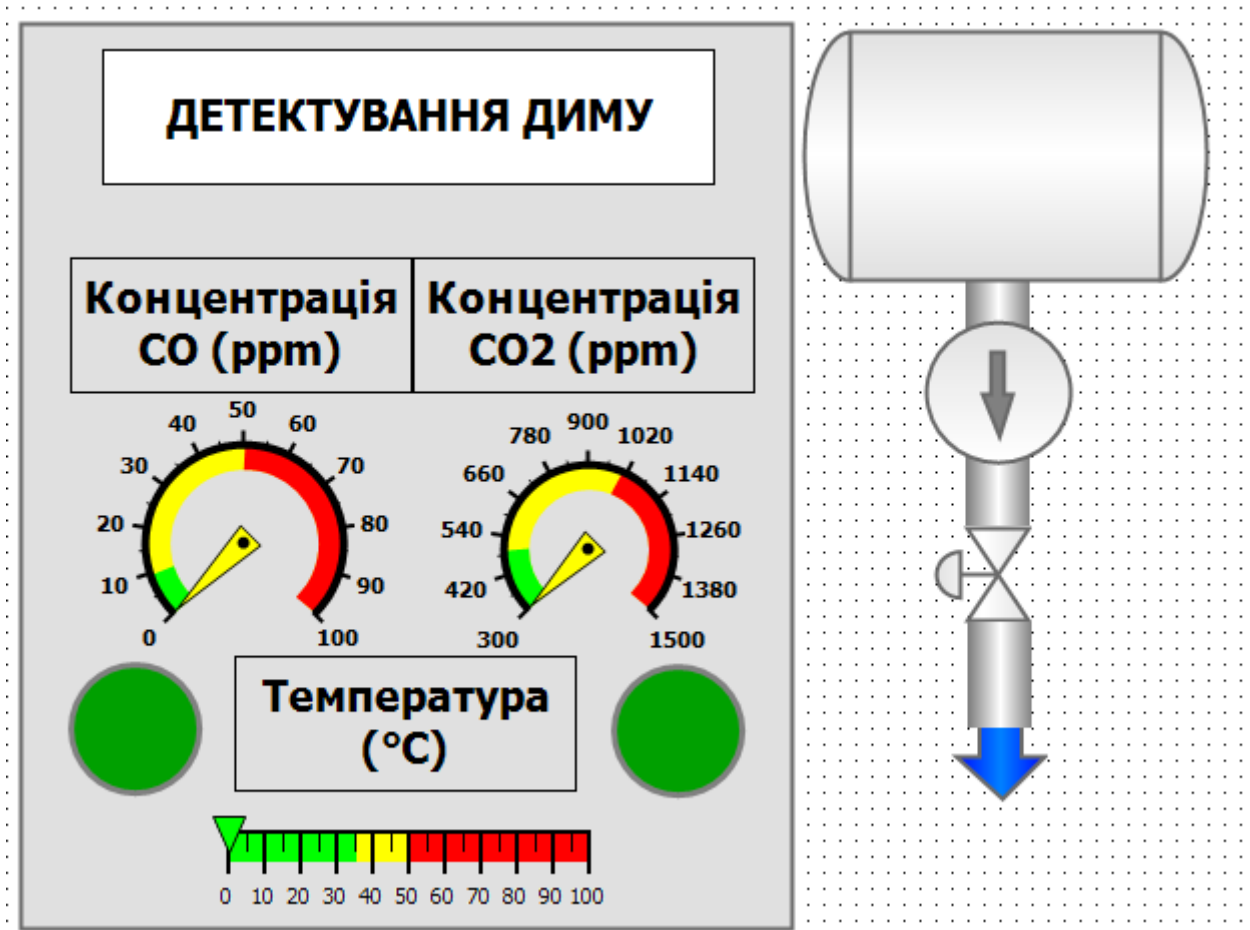
**Розмежування доступу:** Управління правами доступу користувачів та забезпечення безпеки системи.

**Резервне забезпечення:** Забезпечення надійності системи через резервування ключових компонентів (серверів, мереж, клієнтів).

**Горизонтальний обмін даними:** Обмін даними із суміжними системами АСУТП та передача інформації на верхні рівні управління.

#### **4.2. Scada-система детектування диму і пожежогасіння.**

Система детектування диму (SCADA), що включає в себе детектор диму, детектор чадного газу і термічний детектор, представляє собою комплексне рішення для надійного виявлення потенційних загроз виникнення пожежі. Кожен з компонентів системи виконує свої специфічні функції, сприяючи повноцінному моніторингу та захисту приміщення або об'єкта. Спільно ці компоненти створюють систему, яка вчасно реагує на зміни у середовищі та надає операторам необхідну інформацію для прийняття ефективних рішень у випадку виникнення небезпеки.

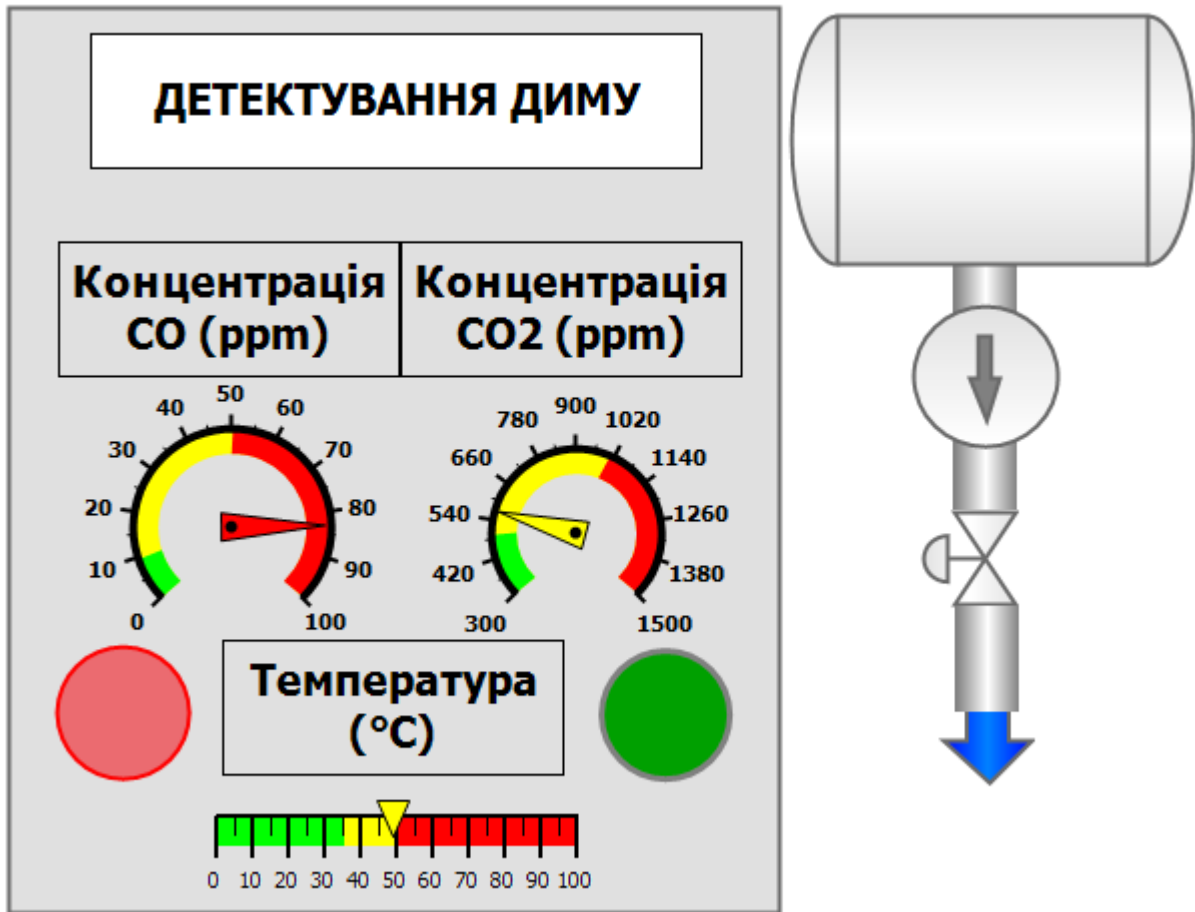


*Рис 4.1 СКАДА-система детектування диму у спокої*

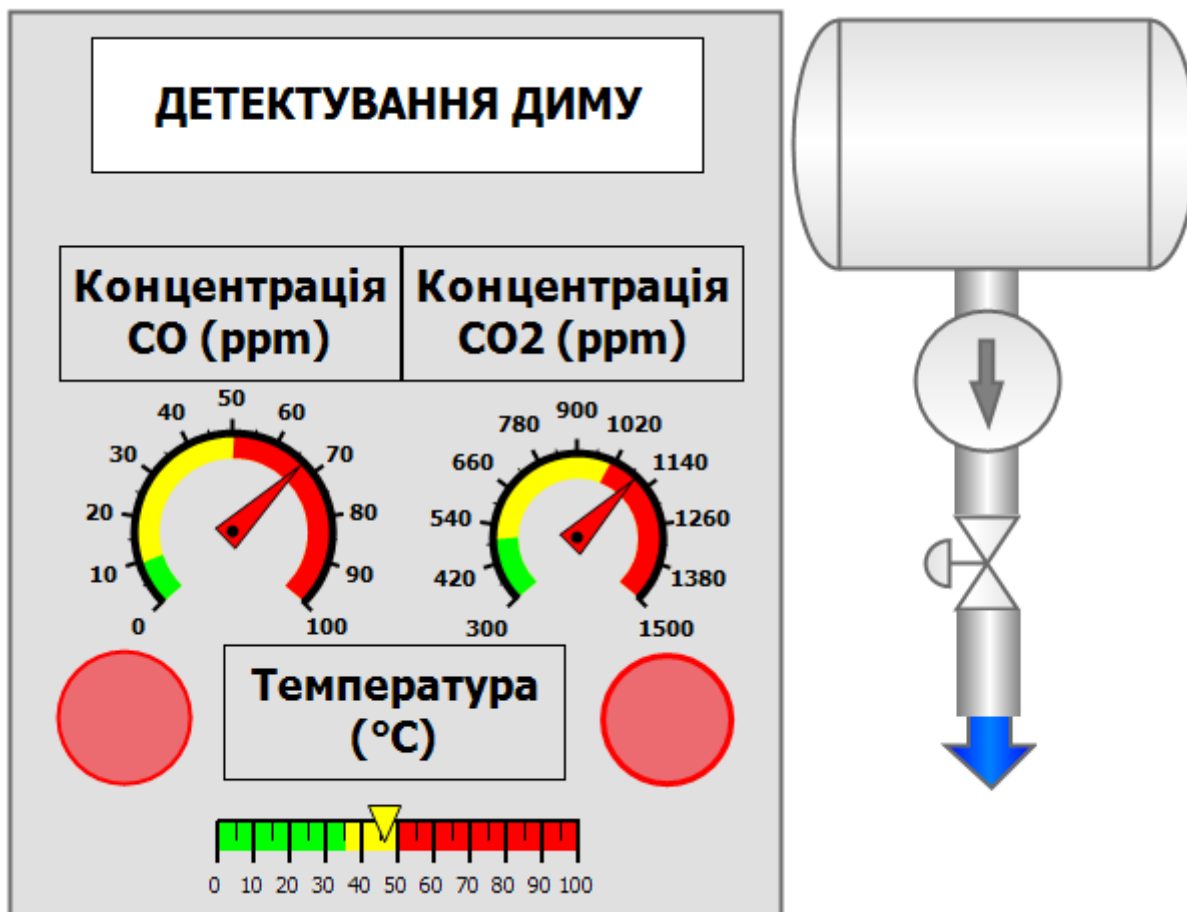
Також, для підвищення зручності відслідковування та ідентифікації перевищення показників норми в системі детектування диму, була впроваджена візуальна складова у формі ламп. Ці лампи виконують функцію індикації, сповіщаючи операторів або відповідний персонал про поточний стан системи. Кожна лампа може відображати різні стани або види тривоги, відповідаючи різним умовам або рівням безпеки.

Наприклад, окремі лампи можуть світитися зеленим світлом для підтвердження нормального режиму роботи, червоним - для сигналізації про надзвичайну ситуацію або виявлення диму, а помаранчевим - для попередження про наявність підозрілих чадних газів. Це візуальне представлення дозволяє операторам швидко і ефективно реагувати на зміни у середовищі та приймати необхідні заходи безпеки в разі потреби.





*Рис 4.1 СКАДА-система детектування диму при незначному перевищенню норми*



*Рис 4.1 СКАДА-система детектування диму при критичному перевищенню норми*

При збільшенні значень показників норми активується насос і відбувається відкриття клапана. Це автоматичне втручання в роботу системи призначене для ефективного керування надзвичайною ситуацією та запобігання подальшому розповсюдженню можливої пожежі чи іншого аварійного стану.

Активація насосу визначається системними параметрами та може включати подачу гасильного речовини чи іншого засобу для стримування пожежі або аварійної ситуації. Одночасно відкриття клапана забезпечує швидке виведення газів чи інших небезпечних речовин із зони ризику, сприяючи ефективному контролю ситуації та зменшенню можливих наслідків.

## **Висновок до розділу**

Була створена Скада-система для детектування диму і управління процесом пожежогасіння. У вищенаведеній описаній СКАДА-системі, яка включає в себе детектори диму, чадного газу та термічний детектор, додатково оснащеною візуальними сигналізаторами, насосом і клапаном, слід зазначити, що ця система має високий рівень автоматизації та надійності.

При підвищенні показників норми, що свідчить про можливу загрозу пожежі або викиду чадного газу, система виконує автоматичні заходи для забезпечення безпеки. Активація насосу та відкривання клапана спрямовані на швидке та ефективне реагування на виникнення надзвичайних ситуацій та мінімізацію можливих наслідків.

## ВИСНОВКИ

У результаті вивчення та аналізу різних аспектів системи детектування диму та пожежогасіння виробничих приміщень, були зроблені наступні загальні висновки:

**Інтеграція технологій та математичне моделювання:** Застосування сучасних технологій, таких як комп'ютерно-інтегровані системи та математичне моделювання, грає ключову роль у створенні ефективних та надійних систем безпеки.

**Оптимізація роботи системи детектування:** Вдосконалення процесів детектування диму, вогню та газів є критичним для оперативності та ефективності пожежогасіння.

**Математичні моделі для ефективного управління:** Використання математичних моделей дозволяє аналізувати та оптимізувати параметри різних процесів в системі, сприяючи підвищенню загального рівня безпеки.

**Теплові процеси та охолодження:** Ефективна система охолодження, зокрема застосування охолоджуючих модулів Пельтьє, грає важливу роль у забезпеченні стабільної роботи датчиків та обладнання.

**Важливість перехідних процесів та часу реакції:** Аналіз перехідних процесів у системі пожежогасіння є важливим етапом для забезпечення найшвидшої реакції на небезпеку.

**Реалізація резервування та горизонтального обміну даними:** Системи повинні мати резервні можливості та забезпечувати обмін даними для максимальної надійності та стійкості.

**Безпека та контроль доступу:** Розмежування прав доступу та забезпечення безпеки системи відіграють ключову роль у запобіганні неправомірному втручанню та вдосконаленні загального рівня безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1) ТОВ «Промислова гідравліка» [Електронне Джерело]  
<https://promhydraulic.com.ua/ua/>
- 2) Підручник для ВНЗ «ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ» За редакцією академіка НАН України, професора Г.Г. Півняка
- 3) Studocu «Grow smarter together» [Електронне Джерело]  
<https://www.studocu.com/uk/document/natsional%D1%8Cniy-universitet-%D1%8Cvivs%D1%8Cka-politehnika/electric-drive/lektsiya-5-konspekti-lektsiy-5/21272969>
- 4) Цифрова трансформація "ІНДАСОФТ-УКРАЇНА" спеціалізується на цифровій трансформації промислових підприємств [Електронне Джерело]  
<https://indusoft.com.ua/blog/2019/10/29/scada-systema-cho-to-takoe/>
- 5) АВТОМАТИЧНІ УСТАНОВКИ ГАЗОВОГО ПОЖЕЖОГАСІННЯ "ЗОРЯ" [Електронне Джерело] <https://zarya.one/blog/sistemy-pozharotusheniya/#%D0%90%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC%D0%B0%20%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%8F%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE%20%D0%BF%D0%BE%D0%B6%D0%B0%D1%80%D0%BE%D1%82%D1%83%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F>
- 6) Worldvision - охоронні системи і безпеки [Електронне Джерело]  
<https://worldvision.com.ua/rukovodstvo-po-razmeshcheniu-datchikov-dyma/>
- 7) Технічна енциклопедія TechTrend [Електронне Джерело]  
<https://techtrend.com.ua/index.php?newsid=25614>
- 8) МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА ОСОБЛИВОСТІ ЧИСЕЛЬНИХ РОЗРАХУНКІВ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З АСИНХРОННИМИ ДВИГУНАМИ [Електронне Джерело]  
[http://www.kdu.edu.ua/new/PHD\\_vid/Monografia\\_MMM.pdf](http://www.kdu.edu.ua/new/PHD_vid/Monografia_MMM.pdf)

- 9) ВИЯВЛЕННЯ/ЗАХИСТ ВІД ПОЖЕЖІ [Електронне Джерело]  
<https://studfile.net/preview/6153120/page:3/>
- 10) NOVEC 1230 АБО "СУХА ВОДА" ТА ЇЇ ЗАСТОСУВАННЯ [Електронне Джерело] <https://cyberleninka.ru/article/n/novec-1230-ili-suhaya-voda-i-ee-primenenie>
- 11) Аналітичний огляд методів детектування вогню [Електронне Джерело]  
<https://cyberleninka.ru/article/n/analitichniy-oglyad-metodiv-detektuvannya-vognyu-zasobami-kompyuternogo-zoru>
- 12) Пожежний датчик диму: види, особливості та призначення [Електронне Джерело] <https://euroservis.com.ua/pozharnyy-datchik-dymavidy-osobennosti-i-naznachenie/>
- 13) Димові датчики, їхня конструкція та принцип дії. [Електронне Джерело]  
<https://studfile.net/preview/2567708/page:7/>
- 14) Smoke detectors explained [Електронне Джерело]  
<https://www.ifsecglobal.com/smoke-detectors/>
- 15) Automating standalone smoke alarms for early remote notifications [Електронне Джерело]  
<https://ieeexplore.ieee.org/document/7064385/authors#authors>
- 16) Development and Manufacturing of Fire Alarm System Devices [Електронне Джерело] <https://ista.ua/en/>