

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних електронних систем

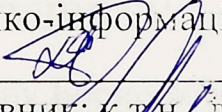
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

### **Бакалаврська кваліфікаційна робота**

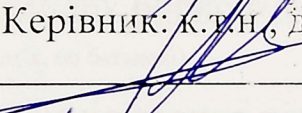
на тему:

«Оптичний датчик вимірювання рівня забруднення  
повітря продуктами горіння»

Виконав: студент 4-го курсу, групи KOIC-216  
спеціальності 152 – Метрологія та  
інформаційно-вимірювальна техніка  
за освітньою програмою «Комп'ютеризовані  
оптико-інформаційні системи»

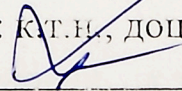
 Пасічник О.Б.

Керівник: к.т.н., доц. каф. БМПОЕС

 Кожем'яко А.В.

« 12 » червня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ОТ

 Тарновський М.Г.

« 13 » червня 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри Л.Г. Коваль

« 17 червня » 2025 р.

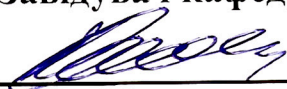
Вінниця ВНТУ – 2025 рік



Вінницький національний технічний університет  
Факультет інформаційних електронних систем  
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем  
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
Галузь знань – 15 – автоматизація та приладобудування  
Спеціальність – 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані оптико-інформаційні системи

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри БМІОЕС

 **Коваль Л.Г.**

« 21 » березня 2025 року

## **ЗАВДАННЯ** **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ** **СТУДЕНТУ**

Пасічнику Олександру Борисовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптичний датчик вимірювання рівня забруднення повітря продуктами горіння

керівник роботи Кожем'яко Андрій Вікторович, к.т.н., доцент затверджено наказом вищого навчального закладу від «20» березня 2025 року №97.

2. Термін подання студентом роботи: 15.06.2025

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Види оптико-електронних складових для визначення забруднення повітря.

3.2 Методи аналізу складових забруднення повітря результатами горіння.

3.3 Перелік основних компонентів оптико-електронної системи.

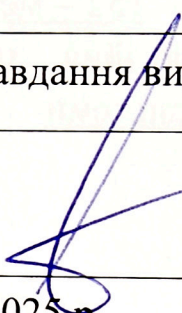
4. Зміст текстової частини: :

Вступ, аналіз предметної області за задач застосування сенсорів виявлення продуктів горіння, структура оптико-електронної системи визначення рівня продуктів горіння у повітрі, моделювання оптичного датчику вимірювання рівня забруднення повітря продуктами горіння, висновки, перелік використаних джерел, додатки.



5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Структурна схема системи виявлення забруднення 2. Функціональна схема оптико-електронної системи аналізу наявності продуктів горіння. 3. Блок-схема роботи системи. 4. Блок-схема розробки проекту.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ             | Прізвище, ініціали та посада консультанта             | Підпис, дата                                                                       |                                                                                     |
|--------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                    |                                                       | Завдання видав                                                                     | Завдання прийняв                                                                    |
| Спеціальна частина | Кожем'яко А.В.,<br>к.т.н., доц, доцент<br>каф. БМІОЕС |  |  |

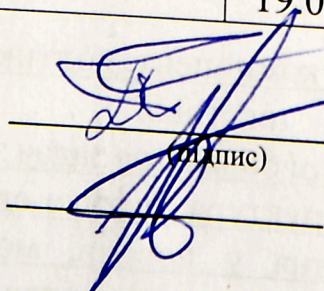
7. Дата видачі завдання «20» березня 2025 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва та зміст етапу                                             | Термін виконання |            | Прізвище |
|------------------------------------------------------------------|------------------|------------|----------|
|                                                                  | початок          | закінчення |          |
| Вибір, узгодження та затвердження теми БДР                       | 03.03.2025       | 20.03.2025 | Вк       |
| Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів | 20.03.2025       | 29.03.2025 | Вк       |
| Аналіз вирішення поставленої задачі на даному етапі              | 30.03.2025       | 05.05.2025 | Вк       |
| Розробка методу і структури системи                              | 06.05.2022       | 17.05.2025 | Вк       |
| Розробка програмних модулів аналізу та класифікації системи      | 18.05.2025       | 24.05.2025 | Вк       |
| Експериментальні дослідження системи                             | 24.05.2025       | 31.05.2025 | Вк       |
| Оформлення пояснювальної записки та графічної частини            | 01.06.2025       | 07.06.2025 | Вк       |
| Нормоконтроль                                                    | 05.06.2025       | 09.06.2025 | Вк       |
| Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР           | 11.06.2025       | 16.06.2025 | Вк       |
| Захист БДР ЕК                                                    | 19.06.2025       | 20.06.2025 | Вк       |

Студент

Керівник роботи  
(підпис)

  
(підпис)

Пасічник О.І

Кожем'яко А.

## АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 87 сторінки формату А4, містить 19 рисунків та 6 таблиць, список використаної літератури містить 37 джерел.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто актуальну проблему моніторингу забруднення повітря продуктами горіння, що є особливо важливим в умовах сучасності, враховуючи зростання кількості пожеж. Було досліджено виявлення речовин, що утворюються при горінні та впливають на здоров'я людини та довкілля.

Основна увага приділена розширенню функціональних можливостей систем моніторингу шляхом інтеграції мультисенсорних технологій для виявлення різних типів забруднюючих речовин (чадного газу, оксидів, твердих частинок). Це дозволить підвищити ефективність раннього виявлення пожеж та покращити безпеку.

Ключові слова: продукти горіння, забруднення повітря, оптико-електронний сенсор, мультисенсорні технології, моніторинг.

.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis comprises 87 pages of A4 format, includes 19 figures and 6 tables, and its list of references contains 37 sources.

The thesis addresses the pressing issue of monitoring air pollution by combustion products, which is particularly relevant today given the increasing number of fires. It investigates the detection of substances formed during combustion that affect human health and the environment.

The main focus is on expanding the functionalities of monitoring systems through the integration of multisensor technologies for detecting various types of pollutants (carbon monoxide, oxides, particulate matter). This will enhance the effectiveness of early fire detection and improve safety.

Keywords: combustion products, air pollution, opto-electronic sensor, multisensor technologies, monitoring.

.

## ЗМІСТ

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                      | 8  |
| 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ЗА ЗАДАЧ ЗАТОСУВАННЯ<br>СЕНСОРІВ ВІЯВЛЕННЯ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ.....    | 10 |
| 1.1 Аналіз небезпеки продуктів горіння для людини.....                                           | 10 |
| 1.2 Розвиток сенсорів виявлення продуктів горіння у повітрі-.....                                | 14 |
| 1.3 Аналіз складових частин системи виявлення продуктів горіння<br>у повітрі .....               | 16 |
| 1.4 Методи виявлення продуктів горіння у повітрі .....                                           | 18 |
| 1.5 Принцип дії оптико-електронних детекторів.....                                               | 21 |
| 1.6 Можливості покращення оптико-електронних детекторів.....                                     | 25 |
| 2 СТРУКТУРА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ<br>РІВНЯ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ У ПОВІТРІ.....      | 28 |
| 2.1 Детектор на основі фоторезистора.....                                                        | 29 |
| 2.2 Сенсор на основі фотопереривача.....                                                         | 30 |
| 2.3 Фотоелектричний детектор.....                                                                | 33 |
| 2.4 Детектор із газовим сенсором .....                                                           | 34 |
| 2.5 Детектор продуктів горіння на основі сенсора MQ2 .....                                       | 35 |
| 2.6 Вибір компонентів системи детектування продуктів горіння.....                                | 38 |
| 2.7 Мікроконтролер ATMEGA 32A.....                                                               | 41 |
| 2.8 Рідкокристалічний дисплей .....                                                              | 44 |
| 3 МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ДАТЧИКУ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ<br>ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ПРОДУКТАМИ ГОРІННЯ..... | 49 |
| 3.1 Обробки сигналів у системах виявлення речовин горіння.....                                   | 49 |
| 3.2 Моделювання методу розпізнавання частинок забруднення .....                                  | 50 |
| 3.3 Розрахунок концентрації оксиду нітрогену ( <b>NO</b> ) .....                                 | 52 |
| 3.4 Розрахунок концентрації оксиду карбону (CO) .....                                            | 53 |
| 3.5 Сенсор диму та пилу .....                                                                    | 53 |
| 3.6 Розробка коду моделювання роботи системи із оптичним датчиком....                            | 65 |
| 3.7 Сенсори CO <sub>2</sub> .....                                                                | 67 |

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| 3.8 Програмне забезпечення роботи системи .....           | 69 |
| ВИСНОВКИ.....                                             | 74 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                         | 76 |
| ДОДАТОК А. ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ..... | 79 |
| ДОДАТОК Б. Ілюстративна частина. ....                     | 80 |
| ДОДАТОК В. Лістинг програмного забезпечення .....         | 85 |



## ВСТУП

**Актуальність роботи.** Горіння, як складний хімічний процес окислення, супроводжується виділенням токсичних речовин, таких як чадний газ, оксиди азоту, сірчисті сполуки, формальдегід і тверді частинки (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), які впливають на повітря, воду та ґрунт. Продукти горіння є значним джерелом забруднення атмосферного повітря, створюючи серйозну загрозу для здоров'я людини та екосистем. Ці речовини викликають гострі та хронічні захворювання, зокрема отруєння, подразнення дихальних шляхів і кисневе голодування, особливо вразливі до яких діти, люди похилого віку та особи з хронічними захворюваннями. У контексті сучасних викликів, таких як зростання кількості пожеж в Україні через воєнні дії та спалювання відходів, аналіз впливу продуктів горіння набуває критичного значення. Розробка та вдосконалення пожежних сенсорів для моніторингу рівня забруднення продуктами горіння є важливим кроком для забезпечення безпеки населення та довкілля.

Хімічний склад продуктів горіння залежить від типу горючого матеріалу (деревина, пластик, нафта, побутові відходи), умов горіння (наявність кисню, температура) та джерела займання. Наприклад, неповне горіння в умовах обмеженого доступу кисню сприяє утворенню особливо небезпечних речовин, таких як чадний газ (CO), який зв'язується з гемоглобіном у 200–300 разів сильніше за кисень, викликаючи гіпоксію, або ціаністий водень при горінні синтетичних матеріалів. За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, у 2016 році 66,1% смертей від пожеж були спричинені отруєнням токсичними газами, а в 2022–2023 роках зростання пожеж через воєнні дії посилює викиди бензапірену, діоксинів і твердих частинок, що призвело до масових скарг на респіраторні захворювання. Проблема ускладнюється стихійним спалюванням сміття, яке спричиняє накопичення канцерогенних речовин у довкіллі, що має довгострокові наслідки для здоров'я населення прилеглих територій.



Особливо гостро проблема стоїть у житловому секторі, де 80% пожеж спричинені побутовими факторами, а також у зонах воєнних дій, де обстріли та вибухи провокують масштабні викиди токсичних продуктів горіння. У зв'язку з цим дослідження продуктів горіння, їхнього впливу на здоров'я та розробка ефективних методів моніторингу за допомогою сучасних сенсорів є ключовим завданням для підвищення рівня безпеки та зменшення негативних наслідків пожеж.

**Об'єкт дослідження:** процес вимірювання рівня забруднення повітря продуктами горіння.

**Предмет дослідження:** методи обробки сигналів оптико-електронного сенсора для виявлення речовин забруднення повітря.

**Мета роботи** – розширення функціональних можливостей системи моніторингу продуктів горіння із застосуванням оптико-електронного димового сповіщувача за рахунок інтеграції мультисенсорних технологій для одночасного виявлення різних типів забруднюючих речовин (чадного газу, оксидів азоту, твердих частинок) в реальному часі. Це дозволить забезпечити комплексний підхід до раннього виявлення пожеж і підвищити рівень безпеки в житлових та промислових приміщеннях, особливо в умовах підвищеного ризику, спричиненого воєнними діями чи стихійним спалюванням відходів в Україні.

**Завдання роботи:**

- проаналізувати існуючі типи оптико-електронних детекторів продуктів горіння;
- визначити методи детектування речовин забруднення повітря в результаті горіння;
- розробити структурну та функціональну схеми оптоелектронного сенсора;
- підібрати сучасні компоненти для реалізації системи та забезпечення її надійності.
- підібрати апаратні компоненти для реалізації.

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ЗА ЗАДАЧ ЗАТОСУВАННЯ СЕНСОРІВ ВИЯВЛЕННЯ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ

## 1.1 Аналіз небезпеки продуктів горіння для людини

Продукти горіння є одним із основних джерел забруднення атмосферного повітря, що становить серйозну загрозу для здоров'я людини та довкілля. Горіння, як хімічний процес окислення, супроводжується виділенням різноманітних токсичних речовин, які потрапляють у повітря, воду та ґрунт, впливаючи на екосистеми та людський організм. У контексті сучасних технологій, таких як пожежні сенсори, які використовуються для моніторингу рівня забруднення повітря, аналіз небезпек продуктів горіння набуває особливого значення.

Хімічний склад продуктів горіння. Горіння – це складний фізико-хімічний процес, який залежить від типу горючої речовини, умов горіння (наявність кисню, температура) та джерела займання. Під час горіння утворюються газоподібні, рідкі та тверді продукти, багато з яких є токсичними. Основними компонентами продуктів горіння є:

чадний газ ( $\text{CO}$ ), Безбарвний газ без запаху, який утворюється при неповному згорянні вуглецевмісних матеріалів.  $\text{CO}$  є надзвичайно небезпечним, оскільки зв'язується з гемоглобіном у крові в 200–300 разів сильніше, ніж кисень, що призводить до кисневого голодування (гіпоксії);

діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ): Хоча  $\text{CO}_2$  менш токсичний, у високих концентраціях він може викликати задуху через зниження концентрації кисню в повітрі;

оксида азоту ( $\text{NO}_x$ ): Зокрема діоксид азоту ( $\text{NO}_2$ ), який подразнює дихальні шляхи, викликаючи кашель, задишку та загострення хронічних респіраторних захворювань;

Сірчистий та сірчаний ангідриди ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$ ): Утворюються при горінні матеріалів, що містять сірку, наприклад, вугілля чи автомобільних шин.

Викликають подразнення слизових оболонок і можуть спричинити бронхоспазм;

тверді частинки (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>): сажа, зола та інші мікрочастинки, які проникають у легені, викликаючи запальні процеси та підвищуючи ризик серцево-судинних і респіраторних захворювань;

формальдегід: канцерогенна речовина, що виділяється при горінні деревини, меблів чи полімерів. Впливає на дихальні шляхи, очі та центральну нервову систему.

Ці речовини утворюють складну суміш, яка залежить від типу горючого матеріалу (деревина, пластик, нафта, побутові відходи) та умов горіння (повне чи неповне). Наприклад, горіння синтетичних матеріалів у закритих приміщеннях, де кисню недостатньо, сприяє утворенню більш токсичних продуктів, таких як чадний газ і ціаністий водень.

Вплив продуктів горіння на здоров'я людини. Продукти горіння впливають на людський організм через різні шляхи: інгаляційний (вдихання), контактний (через шкіру чи слизові) та трофічний (через забруднену їжу чи воду). Їхній вплив може бути як гострим, так і хронічним, залежно від концентрації, тривалості експозиції та індивідуальних особливостей організму. Отруєння чадним газом: СО викликає головний біль, запаморочення, нудоту, слабкість, втрату свідомості та, у важких випадках, смерть. За даними досліджень, отруєння чадним газом є причиною 50–80% смертей під час пожеж у закритих приміщеннях. Наприклад, концентрація СО в межах 0,1% у повітрі може бути летальною протягом кількох хвилин. Подразнення дихальних шляхів: Оксиди азоту, сірчисті сполуки та формальдегід викликають печіння в горлі, кашель, задишку та бронхоспазм. У важких випадках можливий розвиток токсичної пневмонії, особливо при вдиханні чорного диму від горіння гуми чи пластику. Кисневе голодування: Під час пожеж концентрація кисню в повітрі може знижуватися до 14% (норма – 21%), що призводить до порушення координації рухів, слабкості та втрати свідомості.



Вплив на вразливі групи населення. Діти, люди похилого віку, вагітні жінки та особи з хронічними захворюваннями (астма, ХОЗЛ, серцево-судинні захворювання) є особливо вразливими до впливу продуктів горіння. Наприклад, діти мають вищу частоту дихання, що сприяє більшій інгаляції токсичних речовин, а їхній організм менш здатний до детоксикації.

Статистика отруєнь продуктами горіння в Україні. За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, близько 80% пожеж в Україні відбувається в житловому секторі, де токсичні продукти горіння є основною причиною смертності. Зокрема, у 2016 році було зафіксовано, що 66,1% жертв пожеж загинули через отруєння токсичними газами, димом або зниження концентрації кисню.

У контексті воєнних дій в Україні після 2022 року спостерігається зростання кількості пожеж, спричинених обстрілами та вибухами, що призводить до значних викидів продуктів горіння. Наприклад, за даними екологічних організацій, під час пожеж на промислових об'єктах у 2022–2023 роках у повітря потрапляли бензапірен, оксиди азоту та тверді частинки, що викликали масові скарги на головний біль, нудоту та загострення респіраторних захворювань серед населення. Точна статистика отруєнь продуктами горіння в Україні обмежена через недостатній моніторинг, однак, за оцінками, щорічно тисячі людей зазнають гострих чи хронічних отруєнь через вплив диму від пожеж.

Особливо гострою є проблема спалювання побутових відходів та стихійних сміттєзвалищ. Наприклад, дослідження показують, що горіння сміття на полігонах твердих побутових відходів в Україні призводить до викидів діоксинів, бензапірену та важких металів, які мають накопичувальний ефект і впливають на здоров'я населення прилеглих територій.

На основі аналітичної довідки про пожежі та їх наслідки в Україні за 11 місяців 2025 року можна виділити наступні негативні наслідки:

За звітний період, порівняно з аналогічним періодом 2023 року, в Україні зареєстровано 101 437 пожеж. Унаслідок пожеж загинуло 1 309 людей, що на 4,6 % більше, ніж у 2023 році.

Кількість травмованих у містах (1001 особа) становить 62,1 %, а в селах (611 осіб) – 37,9 % від загальної кількості травмованих<sup>3</sup>. Кількість травмованих у містах зросла на 10,5 %, а в селах – на 28,6 %<sup>3</sup>.

Матеріальні втрати. Загальні матеріальні втрати від пожеж склали 53 млрд 829 млн 569 тис. грн, що на 31,0 % менше порівняно з 2023 роком.

Середньодобові показники (негативні наслідки щодня). Щодня в Україні виникало в середньому 303 пожежі, гинуло 4 людини, отримували травми 5 людей, вогнем знищувалась або пошкоджувалась 101 будівля чи споруда, вогнем знищувалось або пошкоджувалось 20 одиниць техніки, щоденні матеріальні втрати від пожеж складали 160 млн 685 тис. грн.

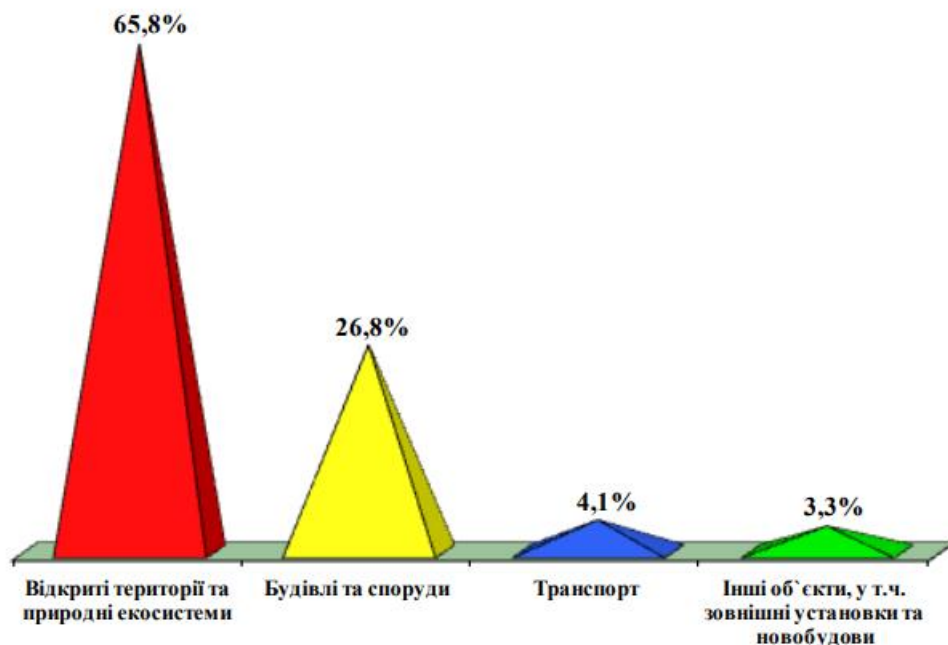


Рисунок 1.1 – Розподіл пожеж за групами об'єктів їх виникнення

Таким чином, основними негативними наслідками пожеж в Україні за 11 місяців 2025 року є значне зростання кількості самих пожеж, збільшення кількості загиблих (особливо дітей) та травмованих людей, а також суттєве зростання прямих матеріальних збитків, пошкоджень будівель, техніки, втрат зерна, кормів та свійських тварин

Роль пожежних сенсорів у зменшенні ризиків. Пожежні сенсори відіграють важливу роль у ранньому виявленні продуктів горіння, що дозволяє зменшити ризик отруєнь. Ці пристрої здатні виявляти чадний газ, оксиди азоту,

тверді частинки та інші токсичні сполуки в реальному часі. Наприклад, сучасні оптичні датчики можуть вимірювати концентрацію PM2.5 і PM10, що є критично важливим для оцінки рівня забруднення повітря під час пожеж. Використання таких сенсорів у житлових і промислових приміщеннях сприяє своєчасному сповіщенню про небезпеку, дозволяючи людям евакуюватися до того, як концентрація токсичних речовин досягне критичного рівня.

## **1.2 Розвиток сенсорів виявлення продуктів горіння у повітрі-**

Ідея виявлення диму як ознаки пожежі має глибоке коріння. Перший відомий пристрій для виявлення вогню створив Френсіс Роббінс Аптон у 1890 році, але він був далекий від детекторів диму, які ми знаємо сьогодні. Ці перші теплові сповіщувачі часто не виявляли пожежі досить рано, щоб забезпечити повне попередження.

Народження сучасних детекторів диму відносяться до 1930-х років, коли швейцарський фізик Вальтер Єгер випадково відкрив принципи виявлення диму на основі іонізації. Джегер намагався створити датчик отруйного газу, але під час експерименту помітив, що пристрій реєструє його сигаретний дим. Це ненавмисне відкриття заклало основу для детектора диму з іонізаційною камерою, хоча знадобилися десятиліття, перш ніж технологія стала життєздатною для широкого використання.

Іонізаційні та фотоелектричні детектори. До 1960-х років технологічний прогрес дозволив виготовити перші комерційні детектори диму. Розроблено два основних типи іонізаційних сповіщувачів диму та фотоелектричних сповіщувачів диму, кожен з яких базується на різних принципах.

Іонізаційні сповіщувачі диму народилися безпосередньо з відкриття Jaeger. Ці детектори містять невелику кількість радіоактивної речовини (зазвичай америцій-241), розміщеної між двома електрично зарядженими пластинами. Коли дим потрапляє в камеру, він порушує іонізоване повітря, зменшуючи потік електрики, і спрацьовує сигналізація. Іонізаційні сповіщувачі особливо добрі для виявлення швидкого горіння полум'я.

З іншого боку, фотоелектричні детектори диму використовують джерело світла (зазвичай лазер або світлодіод) і світлочутливий датчик, розташований під кутом. Коли дим потрапляє в камеру, він розсіює світло, яке потрапляє на датчик і викликає сигналізацію. Фотоелектричні сповіщувачі, як правило, більш чутливі до тліючого вогню, який може утворювати велику кількість диму, перш ніж полум'я стане очевидним.

Іонізаційні сповіщувачі диму містять америцій-241, радіоактивний елемент, який може вивільняти альфа-частинки. Однак сума настільки мала, що не становить загрози для людей.

Від промислового до житлового використання. Хоча ці перші детектори диму були новаторськими, вони все ще були дорогими та використовувалися в основному в комерційних і промислових умовах. Гра змінилася в 1969 році, коли Дуейн Д. Пірсолл, американський інженер, розробив перший детектор диму з батарейним живленням, придатний для використання в житлових приміщеннях. Модель Pearsall – «SmokeGard 700» – була набагато доступнішою та простішою в установці, ніж попередні системи. Його винахід швидко набув популярності на житловому ринку, особливо після того, як у 1970-х роках по всій країні пройшла хвиля законодавства про пожежну безпеку.

До середини 1970-х років житлові детектори диму стали доступнішими, і будівельні норми почали вимагати їх використання в нових будинках. У 1973 році Національна асоціація протипожежного захисту (NFPA) представила NFPA 74, яка рекомендувала встановлювати датчики диму в усіх будинках. Всього через три роки організація схвалила NFPA 101, в якому говорилося, що «димова сигналізація потрібна» в усіх будинках.

До 1980 року 50% будинків у США були обладнані принаймні одним пристроєм, а до 1984 року цей показник зріс до 75%.

Сьогодні детектори диму вважаються необхідними, оскільки вони рятують незліченну кількість життів у всьому світі.

Використання детекторів диму протягом десятиліть було неоціненним у запобіганні смертельним випадкам і втраті майна внаслідок пожежі.



Дослідження показують, що люди вдвічі частіше загинуть під час пожежі в будинку без працюючих датчиків диму. За даними NFPA, три з кожних п'яти смертельних випадків пожежі стаються в будинках без працюючих датчиків диму. Зокрема, швидке поширення іонізаційних детекторів у 1970-х роках пояснюється значним зниженням кількості смертей від пожеж у житлових будинках.

Сучасний детектор диму. Сучасні детектори диму розвинулися далеко за межі свого початкового дизайну. Комбіновані димові сповіщувачі, які мають як іонізаційні, так і фотоелектричні датчики, пропонують підвищений захист, виявляючи різні типи пожеж. Крім того, сучасні системи можуть включати датчики чадного газу, що ще більше підвищує безпеку.

З розвитком технології розумного дому детектори диму також стали більш досконалими. Розумні детектори диму можуть сповіщати власників будинків через їхні смартфони в режимі реального часу та можуть бути інтегровані в більш широкі системи домашньої автоматизації, дозволяючи щоб люди могли стежити за безпекою свого будинку з будь-якої точки світу.

Шлях детекторів диму від їх скромного початку до сучасних розумних пристроїв відіграв важливу роль у пожежній безпеці. Їх широке використання, безсумнівно, врятувало мільйони життів і продовжує залишатися наріжним каменем заходів із запобігання пожежам. З розвитком технологій ми можемо очікувати ще більш складних способів виявлення та запобігання пожежам, але спадщина скромного детектора диму залишається рятівним пристроєм.

### **1.3 Аналіз складових частин системи виявлення продуктів горіння у повітрі**

Основні частини системи вимірювання газу, особливо в контексті сенсорних систем для моніторингу повітря або виявлення певних речовин, що можуть бути продуктами горіння, включають:

Сенсори (Давачі): Це "очі та вуха" системи, які сприймають навколишнє середовище та перетворюють не-електричний сигнал (наприклад, наявність

певного газу) на електричний сигнал [1]. Дослідження зосереджені на покращенні газових сенсорів [2]. Зокрема, згадуються сенсори на основі польових транзисторів (FET) [4]. та металооксидні напівпровідникові (MOS) сенсори [6]. Вивчаються нові газочутливі матеріали, такі як триоксид вольфраму ( $WO_3$ ), для покращення селективності до летких органічних сполук (ЛОС) [4]. Також описано іонізаційні та фотоелектричні детектори продуктів згоряння в контексті систем пожежної сигналізації [7].

Апаратне забезпечення сенсора та електроніка. Це фізичні компоненти, що підтримують роботу сенсорів, контролюють їхній режим роботи (наприклад, температурний цикл [11]) та здійснюють збір вхідного електричного сигналу [12]. Приклади включають плати сенсорів (GasFET Boards), вимірювальні камери (measurement chambers) та системи керування [12]. Також важливим є інтерфейс підключення сенсорів (наприклад, 16-pin TO-8 header або RJ45 connector). Можливе використання різних контролерів (Intel Compute-Stick, BeagleBone Black) та операційних систем.

Обробка та аналіз даних. Це етап інтерпретації сирих даних, отриманих від сенсорів [2]. Включає попередню обробку даних (Preprocessing). Стандартизація та лінеаризація, наприклад, використання логарифмічних значень сигналу для МОС-сенсорів [6].

Вилучення ознак (Feature Extraction). Перетворення сирих сигналів у значущі характеристики [15]. Об'єднання даних з різних сенсорів або джерел для отримання більш повної інформації. Багатовимірні статистика та моделювання, а саме використання статистичних алгоритмів для аналізу складних наборів даних, ідентифікації речовин та визначення їх концентрацій<sup>3</sup>. Зокрема, існують MATLAB-інструментарій DAV3E для оцінки циклічних даних сенсорів за допомогою адаптованих алгоритмів багатовимірної статистики [4]. Також існують моделі, керовані даними, їх валідація та тестування [15].

Калібрування. Процес налаштування системи для забезпечення точних та надійних вимірювань [2]. Це передбачає виставлення сенсорів впливу відомих газових сумішей з контрольованими концентраціями. Може

проводитись лабораторне калібрування та польові випробування для порівняльних вимірювань.

Збір даних та інтерфейс користувача: Системи повинні мати можливість збирати дані та взаємодіяти з користувачем. Польові тестові системи можуть зберігати дані локально на SD-карті або віддалено через мережу. Також може бути реалізований користувацький інтерфейс для налаштувань та отримання зворотного зв'язку.

Ці компоненти інтегруються для створення цілісної сенсорної системи або системи вимірювання газу з метою надійного виявлення та кількісного визначення речовин, часто навіть у надмалих концентраціях на тлі інших газів.

#### **1.4 Методи виявлення продуктів горіння у повітрі**

На основі літературних джерел, в табл. 1.1 наведено порівняльний аналіз методів вимірювання газів та забруднення повітря, які згадуються у текстах. Важливо зазначити, що джерела зосереджені на кількох конкретних типах систем (газові сенсори для моніторингу якості повітря, системи пожежної сигналізації та газові детектори для фізики частинок), і таблиця відображає лише ті методи, які описані в цих джерелах. Оптико-електронні детектори диму є одними з найбільш ефективних засобів для виявлення ознак пожежі на ранніх стадіях. Їх основною перевагою є здатність швидко реагувати на найменші зміни в складі повітря, викликані появою частинок диму, що дозволяє запобігти поширенню пожежі. В основі роботи таких детекторів лежить використання світлових хвиль для виявлення аерозольних частинок диму в повітрі, що забезпечує високу чутливість і надійність роботи.

Загальний принцип дії оптико-електронних детекторів полягає в тому, що світловий промінь, випромінений джерелом світла (зазвичай це інфрачервоне або лазерне випромінювання), проходить через контрольовану зону. У разі наявності частинок диму, світло або розсіюється, або блокується ними, що призводить до зміни інтенсивності світлового потоку, який досягає фотодетектора. Ці зміни фіксуються системою і, якщо вони перевищують певний поріг, активується тривога про можливе займання.

Таблиця 1.1 – Методи вимірювань забруднення повітря продуктами горіння

| Метод вимірювання                              | Основний принцип вимірювання                                                                                                                           | Типи сенсорів                                                                                                                                                                          | Величина, що вимірюється                                                        | Переваги                                                                                                                                                         | Недоліки                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| На основі газових сенсорів                     | Перетворення наявності газу на електричний сигнал. Базується на хімічній взаємодії газу з чутливим матеріалом, що змінює його електричні властивості.  | Газові сенсори на основі польових транзисторів, Метало-оксидні напівпровідникові (MOS) сенсори.. Хемі-резистивні метало-оксидні газові сенсори (напр., $\text{SnO}_2$ , $\text{ZnO}$ ) | Концентрація специфічних газів або їх сумішей. Зокрема, леткі органічні сполуки | Можливість вимірювання низьких концентрацій. Покращенні можливості селективності до конкретних речовин.                                                          | Виклики з надійним вимірюванням ультра-малих концентрацій специфічних речовин на фоні інших газів. Потребують калібрування для точних вимірювань.           |
| Метод оптичної щільності і продуктів в горіння | Вимірювання загасання світла внаслідок його розсіювання та поглинання частинками продуктів горіння                                                     | Оптичні детектори, зокрема фотоелектричні і детектори.                                                                                                                                 | Оптична щільність продуктів горіння                                             | Існують стандартизовані методики тестування, які можуть включати вимірювання оптичної щільності. Дозволяє оцінити вплив різних факторів на поріг спрацьовування. | Точність передбачення спрацьовування залежить від правильного вибору порогу спрацьовування. Чутливість може відрізнятися для різних типів продуктів горіння |
| Метод температурного вимірювання               | Базується на припущенні, що співвідношення оптичної щільності до зростання температури є приблизно постійним для даного виду палива та режиму горіння. | Детектори, які реагують на зростання температури                                                                                                                                       | Зміна температури.                                                              | Незначні                                                                                                                                                         | Метод має недоліки, оскільки співвідношення між оптичною щільністю та зростанням температури часто не має під собою основи або є неточним для різних умов.  |
| На основі іонізації                            | Виявлення продуктів горіння, які впливають на іонізацію повітря та, відповідно, на його                                                                | Іонізаційні детектори.                                                                                                                                                                 | Продукти горіння (опосередковано через зміну провідності повітря).              | Використовуються в тестах для оцінки порогів спрацьовування.                                                                                                     | Чутливість може відрізнятися для різних типів пожеж.                                                                                                        |

|                                                             |                                                                                                                                                                              |                                |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                             | електропровідність.                                                                                                                                                          |                                |                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Спектрофотометричні методи (приклад : для NO <sub>2</sub> ) | Речовина вступає в кольорову реакцію з певними реагентами, інтенсивність кольору вимірюється шляхом поглинання світла за певної довжини хвилі за допомогою спектрофотометра. | Вимірювання поглинання світла. | Концентрація специфічної речовини (напр., діоксиду азоту (NO <sub>2</sub> )). Вимірюється поглинання світла при певній довжині хвилі (напр., 515 нм, 555 нм, 420 нм для NO <sub>2</sub> залежно від реагентів). | Висока чутливість. Лінійність вимірювання у певному діапазоні концентрацій. Дозволяє кількісне визначення конкретної хімічної речовини. | Вимагає використання хімічних реагентів та процедур підготовки проб. Метод описано для конкретних речовин (напр., NO <sub>2</sub> ), і він потребує адаптації або інших реагентів для інших газів.                                                        |
| Метод оптичного потоку                                      | Аналіз руху пікселів між послідовними кадрами відео для ідентифікації областей, що рухаються подібно до диму.                                                                | Відеокамери.                   | Рух та характеристики візуального образу диму на зображенні.                                                                                                                                                    | Дозволяє візуальне виявлення диму. Може використовувати різні алгоритми оптичного потоку <sup>4</sup> .                                 | Не вимірює концентрацію газу чи диму безпосередньо, а лише візуальну ознаку. Точність залежить від якості відео, освітлення, фону та наявності інших рухомих об'єктів. Потребує ручного налаштування порогу для розрізнення областей диму <sup>46</sup> . |

Ця таблиця узагальнює інформацію про методи вимірювання газів та забруднення повітря, які були описані в джерелах.

Основні типи оптико-електронних детекторів базуються на двох методах: метод розсіювання світла і метод поглинання світла. Ці методи різняться за своїм підходом до виявлення диму, але обидва мають високу ефективність у залежності від конкретних умов використання.



### 1.5 Принцип дії оптико-електронних детекторів

В рамках оптико-електронних детекторів найбільш поширеним є використання принципу розсіювання світла. У такому детекторі джерело світла (наприклад, світлодіод) і фотосенсор розташовані таким чином, що в чистій атмосфері промінь світла від джерела не потрапляє безпосередньо на сенсор. Вони можуть бути розміщені під певним кутом один до одного, часто у сенсорній камері. Коли частинки диму потрапляють у цю камеру, вони розсіюють світло. Частина цього розсіяного світла відхиляється від свого первісного напрямку і потрапляє на фотосенсор.

Інтенсивність світла, що досягає сенсора, є пропорційною кількості та розміру частинок диму в камері. Сенсор генерує електричний сигнал, величина якого залежить від інтенсивності отриманого світла. Цей сигнал безперервно відстежується електронікою детектора. Коли рівень сигналу досягає заздалегідь встановленого критерію тривоги, детектор активує пожежну тривогу.

Джерело [3] описує експериментальне дослідження характеристик відгуку фотоелектричних детекторів, що розсіюють світло, у тестовій камері, що відповідає стандарту UL2684. Було вивчено вплив різних конфігурацій корпусу детектора, включаючи "базовий випадок" з сенсорною камерою, екраном сенсора та зовнішнім корпусом, а також конфігурації з вільно розташованим чутливим елементом або лише з сенсорною камерою та екраном сенсора. Дослідження показало, що кількість спаленого палива, швидкість руху диму та конфігурація детектора мають значний вплив на його відгук. У цьому дослідженні був запропонований постійний показник відгуку  $k$  для фотоелектричного детектора диму при певних швидкостях руху диму, щоб співвіднести ослаблення оптичної густини зі змінами вихідного сигналу детектора. Цей показник може бути корисним при розробці параметрів для визначення характеристик відгуку фотоелектричних детекторів.

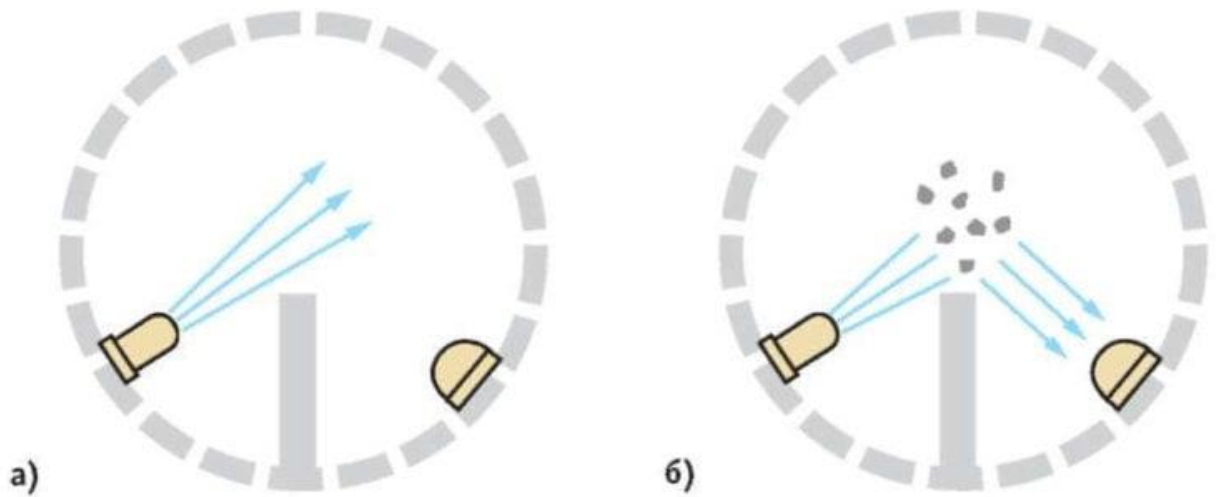


Рисунок 1.1 – Засіб з джерелом випромінювання і фотодетектором

а) без продуктів горіння, б) з продуктами горіння

Принцип дії оптико-електронних детекторів. Метод поглинання світла, базується на іншому принципі. У детекторах, що використовують цей метод, джерело світла і фотосенсор зазвичай розташовані навпроти один одного, так що в чистій атмосфері світловий промінь безперешкодно потрапляє на сенсор. Коли між джерелом і сенсором з'являється дим, частинки диму поглинають або блокують частину світла, що призводить до зменшення інтенсивності світлового потоку, який досягає сенсора. Зменшення інтенсивності світла, яке фіксує фотосенсор, є мірою щільності диму. Хоча джерела згадують цей метод в контексті оптико-електронних детекторів, вони не надають детального опису його реалізації або експериментальних даних, пов'язаних конкретно з принципом поглинання світла димовими частинками у цих детекторах. Також оптична густина важлива (optical density attenuation) в контексті моделювання, що може стосуватися як поглинання, так і розсіювання, але фокусується на параметрі  $L$ .

Технічні параметри та моделювання. Для опису поведінки та ефективності оптико-електронних детекторів, зокрема фотоелектричних, використовуються різні параметри, особливо в контексті моделювання поширення пожежі та активації детекторів, наприклад, за допомогою симулятора динаміки пожежі (FDS - Fire Dynamics Simulator)<sup>5</sup>. Одним з ключових параметрів, що використовується в таких моделях, є

характеристична довжина ( $L$ ). Цей параметр пов'язаний з тим, як детектор "бачить" або "відчуває" дим у своєму оточенні.

Згідно з дослідженнями, цитованими в джерелах, значення характеристичної довжини ( $L$ ) для фотоелектричних детекторів варіюються<sup>5</sup>. Наприклад:

Ці параметри є важливими для точного прогнозування моменту спрацьовування детектора в різних сценаріях пожежі за допомогою комп'ютерного моделювання.

Крім характеристичної довжини, у моделюванні поведінки детекторів можуть використовуватися інші параметри, такі як необхідне підвищення температури для активації (що більше стосується теплових детекторів, але може бути включено в комплексні моделі пожежі) або часові константи, що описують затримку відгуку.

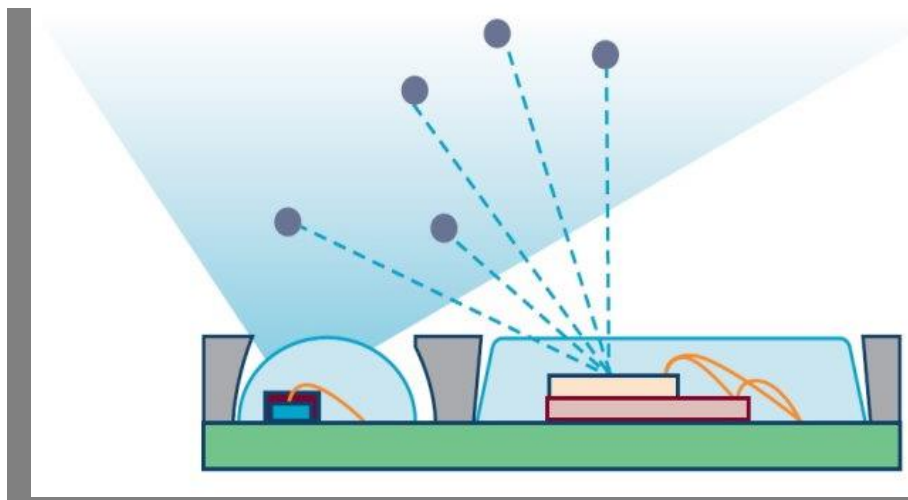


Рисунок 1.2 – Сенсор для детектору диму

Незважаючи на свою ефективність, оптико-електронні детектори, як і інші типи димових сповіщувачів, стикаються з проблемою хибних тривог (nuisance alarms). Хибні тривоги виникають, коли детектор спрацьовує від джерел, що не є справжньою пожежею, наприклад, від пари, пилу, комах, або навіть від інших летких органічних сполук (VOCs), хоча останні більше впливають на газові сенсори. За даними джерел, хибні тривоги становили значну частину пожежних викликів у різних країнах. Наприклад, наприкінці

1990-х та на початку 2000-х років у Америці, Новій Зеландії та Британії до 50% викликів були хибними тривогами. У Гонконзі у 2005 році цей показник досяг 77% від загальної кількості викликів. Це підкреслює важливість оцінки відгуку димових детекторів та розробки методів для зменшення кількості хибних спрацьовувань.

Розвиток технологій пожежної сигналізації, включно з оптико-електронними детекторами, пройшов через чотири покоління датчиків. Сучасні системи досягли високого рівня автономності завдяки інтеграції з мікроелектронікою та інформаційними технологіями. Це дозволяє, зокрема, використовувати бездротове об'єднання датчиків у мережі (wireless networking of sensors), що підвищує надійність та доступність системи в цілому. Хоча джерела не описують конкретні технічні параметри сучасних оптико-електронних детекторів, такі як напруга живлення, діапазон робочих температур або чутливість у стандартних одиницях (%/м), вони підкреслюють загальний тренд до інтеграції та вдосконалення, що є характерним для сучасних пристроїв цього типу.

Таким чином, оптико-електронні детектори, особливо ті, що базуються на розсіюванні світла, є важливим елементом систем раннього виявлення пожежі. Їхня робота залежить від взаємодії світла з частинками диму, а характеристики відгуку можуть бути описані та проаналізовані за допомогою таких параметрів, як характеристична довжина  $L$ , особливо в контексті моделювання<sup>5</sup>. Виклики, такі як хибні тривоги, продовжують стимулювати подальші дослідження та розробку в цій галузі.

Метод розсіювання світла використовується у фотоелектричних оптичних детекторах диму. Цей метод є невіддільною частиною систем пожежної безпеки, а самі детектори широко встановлюються у приміщеннях для раннього попередження про пожежу.

Принцип дії передбачає використання джерела світла та світлочутливого сенсора. Коли в детектор потрапляють частинки диму, вони спричиняють розсіювання світлових променів, випромінюваних джерелом. Світлочутливий сенсор реєструє це розсіяне світло.

Детектор генерує сигнал пожежної тривоги, який є пропорційним інтенсивності світла, що сприймається чутливим елементом. Тривога активується, якщо рівень цього сигналу досягає попередньо встановленого критерію.

Характеристики спрацювання фотоелектричних детекторів диму досліджуються експериментально в тестових камерах, наприклад, за стандартом UL 2682. Цей стандарт визначає вимоги до чутливості для активації детектора диму при мінімальній швидкості потоку та межах оптичної щільності для сірого та чорного диму, який генерується з використанням таких матеріалів, як тліючий бавовняний ґніт та палаючий гас. Оптична щільність визначається на основі зміни інтенсивності світла, що проходить крізь задимлений простір, порівняно з простором без диму.

Існують детектори з "чутливою камерою" (sensing chamber) та різними "конфігураціями корпусу" (casing configurations), включаючи розташування чутливого елемента у вільному доступі або використання сенсорної сітки та зовнішнього корпусу.

Відповідно методи, що включають джерело світла (як інфрачервоне або лазерне, що ви згадали), фотодетектор та виявлення розсіяного димом світла, узгоджується з принципами, описаними в основних джерелах і підтверджують, що вони використовуються для виявлення диму та пов'язаний з вимогами до чутливості.

## **1.6 Можливості покращення оптико-електронних детекторів**

Розвиток оптико-електронних сповіщувачів диму визначається прогресом у технологіях, посиленням стандартів пожежної безпеки та впровадженням передових інновацій. Сучасні системи виявлення диму постійно модернізуються, адаптуючись до нових викликів у сфері протипожежного захисту, що сприяє підвищенню їхньої ефективності та надійності.

Однією з ключових тенденцій є використання мультисенсорних систем, які об'єднують оптичні, газові та теплові датчики. Такий комплексний підхід

забезпечує точніше виявлення небезпек. Ці системи чутливі до різних типів диму та інших параметрів, як-от чадний газ чи підвищення температури, що дозволяє не лише підтверджувати тривогу, але й виявляти загоряння на початкових етапах [23].

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) і мікропроцесорів у системи виявлення диму є ще одним важливим напрямком. ШІ аналізує великі масиви даних, виявляючи аномалії, що вказують на присутність диму, і адаптується до змін умов експлуатації. Алгоритми машинного навчання зменшують кількість хибних спрацьовувань, постійно оцінюючи навколишнє середовище, що підвищує точність і надійність систем [22].

Застосування технологій Інтернету речей (IoT) розширює можливості детекторів забруднення. IoT забезпечує віддалений контроль стану пристроїв у реальному часі, дозволяючи оперативно реагувати на потенційні загрози. Дані, зібрані з багатьох датчиків, використовуються для статистичного аналізу та прогнозування ризиків, що оптимізує роботу систем і підвищує їхню ефективність у різних умовах [24].

Ще однією тенденцією є створення компактніших і енергоефективніших детекторів. Розробка легких і невеликих моделей спрощує їх монтаж і економить простір. Застосування бездротових технологій і нових енергоощадних рішень підвищує автономність пристроїв і знижує енергоспоживання, що є важливим для сучасних систем [25].

Покращення матеріалів для виготовлення детекторів також відіграє значну роль. Використання наноматеріалів забезпечує вищу чутливість і стійкість до зовнішніх впливів, таких як корозія чи перепади температури, що подовжує термін експлуатації пристроїв і зменшує потребу в їх частій заміні [26].

Соціальні фактори та законодавчі вимоги також впливають на еволюцію оптико-електронних сповіщувачів. Посилення стандартів безпеки стимулює розробку інноваційних рішень, які гарантують вищий рівень захисту. Зростання обізнаності суспільства про важливість протипожежних заходів сприяє популяризації та впровадженню нових технологій у цій галузі.



Нарешті, вдосконалення детекторів зумовлене необхідністю адаптації до складних умов експлуатації. Нові рішення, такі як інтеграція з розумними системами будівель, дозволяють створювати більш інтелектуальні та гнучкі протипожежні системи, що відповідають сучасним вимогам безпеки.

## **2 СТРУКТУРА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ПРОДУКТІВ ГОРІННЯ У ПОВІТРІ**

Сучасні розробки детекторів спрямовані на покращення продуктивності, зменшення енергоспоживання, підвищення чутливості до хибних спрацьовувань і постійний моніторинг стану повітря. Найновіші досягнення мотивовані створенням "розумних" детекторів [2]. Вони також застосовуються для виявлення куріння в заборонених зонах. Забруднення повітря можна виявляти оптичним (фотоелектричним) або фізичним (іонізаційним) методом. Детектори можуть використовувати один або обидва методи. Основна задача-розробити схему для виявлення продуктів горіння та активації сигналу тривоги. Для цього необхідно: проаналізувати та калібрувати димовий сенсор MQ2, розробити програму для перетворення аналогового сигналу сенсора в цифровий формат у мікроконтролері, розробити візуальні сповіщення (РК-дисплей та світлодіод) для індикації диму, розробити звукові сповіщення (зумер) для індикації наявності диму. Запропонований сповіщувач – це пристрій, який виявляє продукти горіння як індикатор пожежі або зони, де куріння заборонено. Для забезпечення безпеки людей і захисту майна від пожеж у побутових і комерційних умовах розроблено різні рішення для виявлення продуктів горіння. Ці конструкції різняться залежно від методу виявлення. Необхідно розглянути основні типи таких детекторів:

**Фотоелектричний детектор.** Фотоелектричний детектор використовує оптичний промінь для виявлення диму. Коли частинки диму затемнюють промінь, фотоелемент фіксує зменшення інтенсивності світла й активує сигнал тривоги. Цей тип реагує швидше на тліючі пожежі, які виділяють багато диму.

**Іонізаційний детектор.** Іонізаційні сповіщувачі швидше реагують на вогонь з незначною кількістю диму. Вони використовують радіоактивний матеріал для іонізації повітря в камері; дим впливає на потік іонів між електродами, що активує сигнал тривоги [3]. У типових системах радіоактивний матеріал випромінює альфа-частинки, які створюють позитивні

та негативні іони. Два електроди притягують ці іони, створюючи невеликий струм. Димові частинки порушують цей потік, викликаючи різницю струму між вимірювальною та контрольною камерами, що активує тривогу. Це найпоширеніший тип для побутового використання.

## 2.1 Детектор на основі фоторезистора

Фоторезистор, також відомий як LDR, є резистором, опір якого змінюється залежно від інтенсивності світла. LDR виготовляють із напівпровідникових матеріалів із високим опором через обмежену кількість вільних електронів. Світло, падаючи на матеріал, передає енергію електронам, зменшуючи опір. Фоторезистор використовуються в димових сповіщувачах, фотометрах і вуличному освітленні. Цей сповіщувач реагує на дим, який проходить між лампою та фоторезистором, зменшуючи кількість світла, що падає на фоторезистор, і збільшуючи його опір. Це змінює напругу, яка активує транзистор і запускає сигнал тривоги. Чутливість залежить від відстані між лампою та фоторезистором.



Рисунок 2.1 – Фоторезисторний елемент

Цей детектор реагує на дим, який утворюється під час горіння та проходить між лампою і фоторезистором, зменшуючи кількість світла, що падає на фоторезистор, що, відповідно, збільшує його опір. Це впливає на характеристики напруги, які можна використати для підвищення напруги на базі транзистора, до якого підключено живлення мікросхеми. Принцип його роботи проілюстровано на рисунку 2.2.

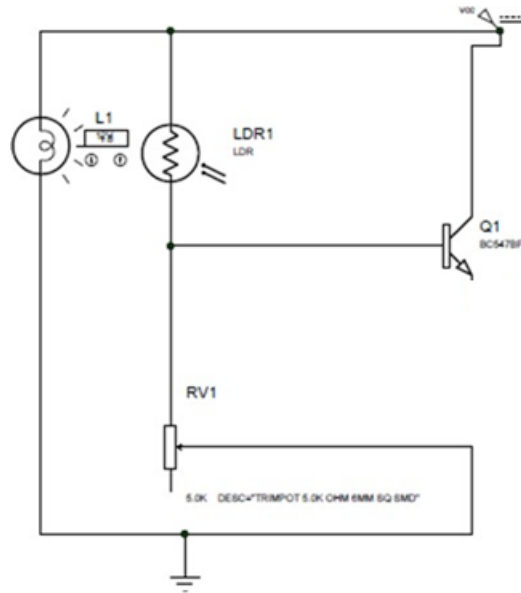


Рисунок 2.2 – Схема детектора продуктів горіння на основі фоторезистора

Чутливість димового сповіщувача залежить від відстані між лампою та фоторезистора.

## 2.2 Сенсор на основі фотопереривача

Фотопереривач складається з інфрачервоного світлодіода (емітера) і фототранзистора (детектора), розміщених у одному корпусі. Фототранзистор реагує на світло, подібно до звичайного транзистора, що реагує на струм. Без перешкод світло від світлодіода активує фототранзистор, дозволяючи струму проходити. Дим перериває промінь, вимикаючи транзистор. Фотопереривач має чотири виводи: анод і катод для світлодіода, колектор і емітер для фототранзистора. Резистор обмежує струм світлодіода, а вихід фототранзистора під'єднується до таймера 555, налаштованого як астабільний мультивібратор, який генерує звуковий сигнал.

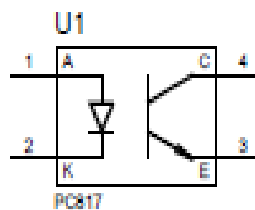


Рисунок 2.3 – Елемент фотопереривача

Фототранзистор працює подібно до звичайного транзистора, але замість струму на базі він потребує світла для увімкнення струму між колектором і емітером. У фотопереривачі світлодіод і фототранзистор встановлені на невеликих стійках, і коли промінь не переривається, транзистор вмикається, пропускаючи струм від колектора до емітера. Якщо промінь переривається, наприклад, димом, транзистор вимикається. Фотопереривач має чотири виводи: анод і катод для світлодіода, а також колектор і емітер для фототранзистора. Типова схема підключення фотопереривача показана на рисунку 2.4.

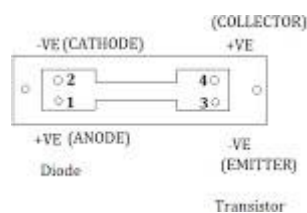


Рисунок 2.4 – Схема виводів фотопереривача



Рисунок 2.5 – Модуль фотопереривача

На рис. 2.6 резистор R1 обмежує струм до світлодіода до типового значення приблизно 20 мА. Резистор R3 не повинен перевищувати 100 кОм, оскільки це може спричинити додаткові проблеми через високий імпеданс схеми. Навколишнє світло може впливати на детектор. Цей ефект можна зменшити, обираючи фотопереривач із мінімальною шириною зазору, можливою для конкретного застосування. Якщо усунути вплив навколишнього

світла неможливо, резистори слід відповідним чином налаштувати. Коли в фотопереривачі немає перешкод, світло від світлодіода потрапляє безпосередньо на фототранзистор, що призводить до заземлення колекторного виведення. Вихідний сигнал, знятий із колектора фототранзистора, має значення 0 (низький).

При появі диму поблизу промінь блокується, що значно знижує провідність фототранзистора до заземлення, і вихідна напруга на його колекторі становить 5 В (високий). Цей колекторний вивід підключений до керування скиданням таймера 555.

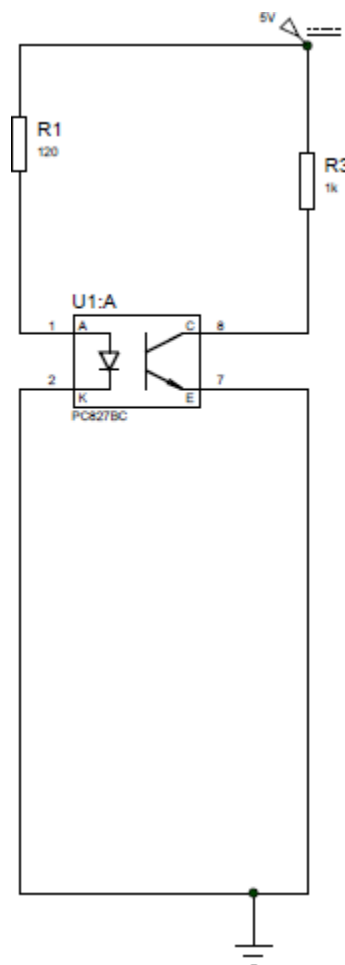


Рисунок 2.6 – Електрична схема фотопереривача

Таймер 555 підключений як астабільний мультивібратор, як показано на наступному рисунку. Для оптимальної роботи робочий цикл зазвичай встановлюють на рівні 50%, а резистори та конденсатор ретельно підбирають за такими співвідношеннями:

$$PC = ((R_1 + R_2) / (R_1 + 2 * R_2)) * 100\%, \quad (2.1)$$

$$f = 1.4 / ((R_1 + 2 * R_2) * C). \quad (2.2)$$

Висока напруга на виводі скидання активує мікросхему, яка безперервно генерує прямокутні імпульси через вивід 3, що, у свою чергу, керує динаміком або зумером через з'єднувальний конденсатор.

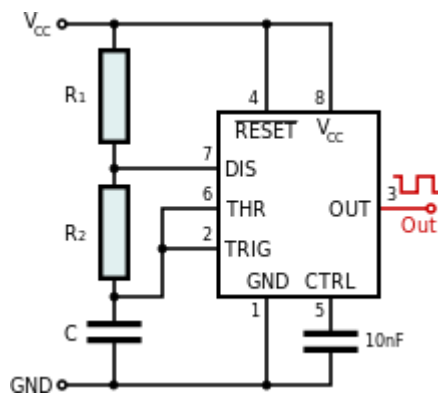


Рисунок 2.7 – Схема підключення таймера 555 як астабільного мультівібратора

Астабільний режим зазвичай налаштовується як осцилятор із частотою в діапазоні 20 Гц – 20 кГц.

### 2.3 Фотоелектричний детектор

Фотоелектричний детектор RE46C190 – це низьковольтний програмований фотоелектричний детектор із низьким струмом. З мінімальною кількістю зовнішніх компонентів він забезпечує всі функції для фотоелектричного детектора. Програмоване налаштування та калібрування зменшують кількість компонентів і витрати. Вбудований стабілізатор напруги забезпечує роботу інфрачервоного діода та звукового сигналу за низького заряду батареї.





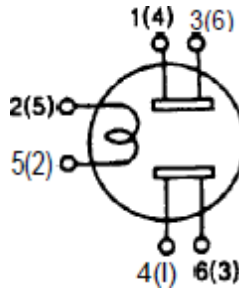


Рисунок 2.9 – Схема електричного кола TGS 813 [6]\*

Зміна опору сенсора TGS вимірюється безпосередньо як зміна напруги на навантажувальному резисторі. У чистому повітрі струм, що проходить через сенсор і резистор  $R_L$  послідовно, є стабільним, але при контакті диму чи горючих газів із поверхнею сенсора опір сенсора зменшується залежно від концентрації газу. Напруга на  $R_L$  залишається однаковою при живленні  $V_C$  і  $V_H$  від джерел змінного або постійного струму. Вихідна напруга може бути використана для активації сигналу тривоги.

Однак опір сенсора залежить від температури та вологості навколишнього середовища, що може спричинити коливання точки спрацьовування тривоги. Тому під час проєктування рекомендується визначити середні значення температури та вологості в зоні роботи для компенсації сезонних коливань. Для цього можна використовувати термістор із негативною характеристикою. Важливо також враховувати місце розміщення термістора в схемі: його не слід встановлювати поблизу компонентів, що виділяють тепло, таких як трансформатор або сенсор, а також у місцях, де можливий сильний потік повітря, оскільки це впливає на температурні характеристики сенсора [6].

## 2.5 Детектор продуктів горіння на основі сенсора MQ2

MQ2 належить до серії напівпровідникових газових сенсорів, які виявляють горючі гази та дим. Переваги MQ2 включають високу чутливість, швидку реакцію, широкий діапазон виявлення, стабільність і просту схему керування. MQ2 виявляє концентрацію горючих газів і диму, видаючи аналогову напругу. Чутливим матеріалом є  $\text{SnO}_2$ , провідність якого зростає зі

збільшенням концентрації газів. Сенсор під'єднується до мікроконтролера для активації зумера.

Сенсор MQ2 належить до серії напівпровідникових газових сенсорів MQ. Сенсори MQ застосовуються для виявлення витоків газу та диму. Їх основні переваги включають:

- високу чутливість;
- швидку реакцію;
- широкий діапазон виявлення;
- стабільну роботу та довговічність;
- просту схему керування.

Сенсор MQ2 — це датчик горючих газів і диму, який визначає концентрацію горючих газів у повітрі та видає показання у вигляді аналогової напруги. Він чутливий до широкого спектра газів і використовується за кімнатної температури. Деякі модулі мають вбудований змінний резистор для регулювання чутливості сенсора. MQ2 належить до категорії електромеханічних газових детекторів, які працюють шляхом дифузії газів через пористу мембрану до електрода, де гази або окислюються, або відновлюються. Кількість створеного струму залежить від ступеня окислення газу на електроді, що вказує на його концентрацію.

Однак такі сенсори чутливі до корозійних елементів або хімічного забруднення і можуть працювати лише 1–2 роки до заміни.

MQ2 є найпридатнішим і найдоступнішим для виявлення продуктів горіння.

У таблиці 2.1 нижче наведено різні сенсори серії MQ та цільові гази для виявлення.

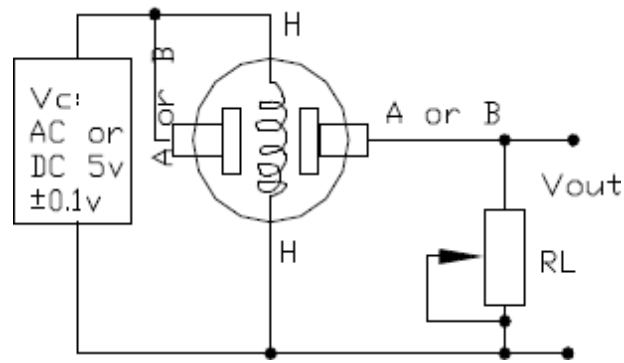


Рисунок 2.10 – Схема підключення сенсора MQ2

Таблиця 2.1 – Сенсори серії MQ та газу для їх виявлення

| Модель | Цільовий газ                                      |
|--------|---------------------------------------------------|
| MQ2    | Загальні горючі газу, включаючи дим               |
| MQ3    | Спирт                                             |
| MQ4    | Природний газ, метан                              |
| MQ5    | Зріджений газ, природний газ, вугільний газ       |
| MQ6    | Зріджений газ, пропан                             |
| MQ7    | Чадний газ (CO)                                   |
| MQ8    | Водень                                            |
| MQ9    | Чадний газ і горючі газу                          |
| MQ216  | Природний газ, вугільний газ                      |
| MQ306A | Зріджений газ, пропан                             |
| MQ309A | Чадний газ, горючі газу                           |
| MQ303A | Спирт                                             |
| MQ131  | Озон (O3)                                         |
| MQ135  | Контроль якості повітря (NH3, бензол, спирт, дим) |
| MQ136  | Сірководень (H2S)                                 |
| MQ137  | Аміак                                             |
| MQ138  | Спирти, бензол, альдегіди, кетони, ефіри          |

Вихідна напруга, яка має аналоговий характер, може бути використана для активації зумера шляхом підключення до мікроконтролера, Arduino або Raspberry Pi.

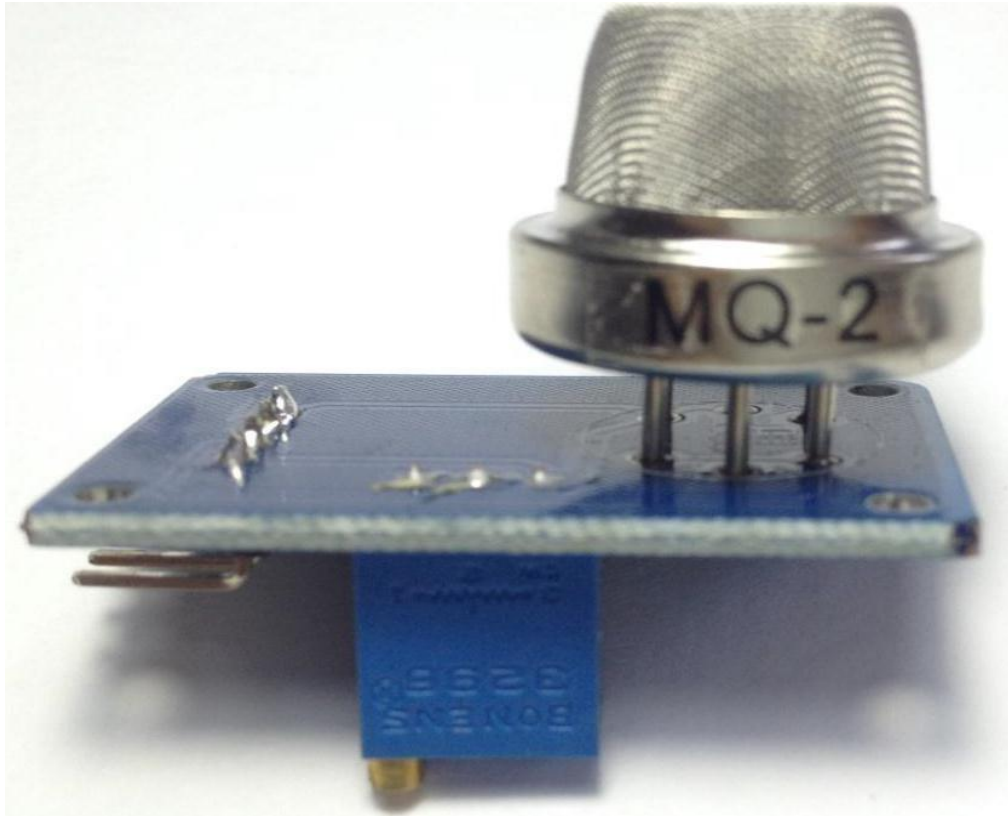


Рисунок 2.11 – Сенсор MQ2

Для MQ2 використовується чутливий матеріал  $\text{SnO}_2$ , провідність якого нижча в чистому повітрі та зростає зі збільшенням концентрації горючих газів. Для розробки схеми димового сповіщувача було обрано сенсор MQ2 завдяки перевагам:

- широкий діапазон виявлення;
- доступність;
- стабільність і довговічність;
- швидка реакція;
- низька вартість;
- проста схема керування.

## **2.6 Вибір компонентів системи детектування продуктів горіння**

Необхідно розглянути компоненти і елементи, які використовуються для реалізації системи. До них належать: сенсор MQ2, мікроконтролер Atmega 32A, РК-модуль, зумер, світлодіод, модуль живлення. Сенсори MQ2

застосовуються в обладнанні для виявлення витоків газу в побуті та промисловості й підходять для виявлення зрідженого газу (LPG), ізобутану, пропану, метану, спирту, водню та диму.

Таблиця 2.2 – Специфікації стандартних умов роботи

| Символ         | Назва параметра      | Технічні умови | Примітки                 |
|----------------|----------------------|----------------|--------------------------|
| V <sub>c</sub> | Напруга ланцюга      | 5 В ± 0.1      | AC або DC                |
| RL             | Опір навантаження    | Регульований   |                          |
| RH             | Опір нагрівача       | 33 Ом ± 5%     | За кімнатної температури |
| PH             | Споживана потужність | Менше 800 мВт  |                          |

Сенсор MQ2 використовується для виявлення газів, зокрема LPG, пропану, метану, спирту, водню та диму.

Таблиця 2.3 – Складові частини сенсору

| Частина                | Матеріал                       |
|------------------------|--------------------------------|
| 1. Чутливий шар        | SnO <sub>2</sub>               |
| 2. Електрод            | Au (Золото)                    |
| 3. Лінія електрода     | Pt (Платина)                   |
| 4. Нагрівальна спіраль | Нікель-хромовий сплав          |
| 5. Керамічна трубка    | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| 6. Противибухова сітка | Нержавіюча сталева сітка       |
| 7. Затискне кільце     | Мідне покриття, Ni             |
| 8. Основа з смоли      | Бакеліт                        |
| 9. Вивід трубки        | Мідне покриття, Ni             |

Робоча температура: -20°C до 50°C, температура зберігання: -20°C до 70°C, вологість: < 95%, концентрація кисню: 21% (мін. 2%). Чутливість: опір сенсора (R<sub>s</sub>): 3–30 кОм.

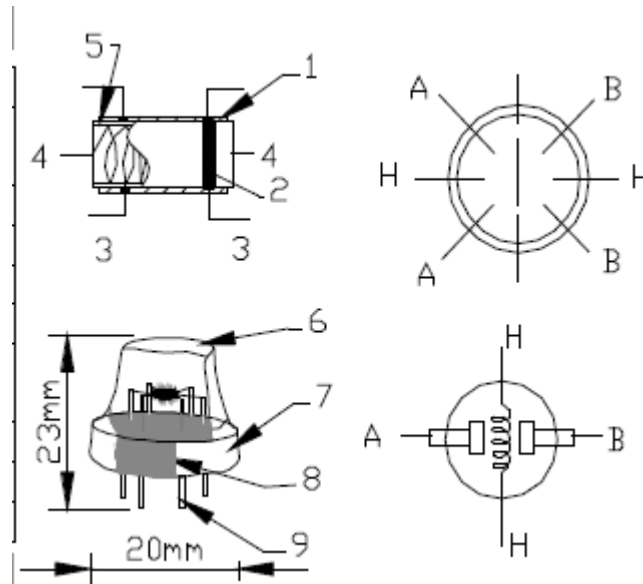


Рисунок 2.12 – Структура MQ2

Застереження та умови, які необхідно виключити: Вплив органічного силіконового пару. Органічний силіконовий пар може вивести сенсори з ладу. Сенсори не повинні контактувати з силіконовими сполуками, латексом, шпаклівкою або пластиком, що містить силікон.

Висококонцентровані корозійні гази. Вплив високих концентрацій корозійних газів (наприклад,  $H_2S$ ,  $SO_x$ ,  $Cl_2$ ,  $HCl$  тощо) спричиняє корозію структури сенсора та значно знижує його чутливість.

Луги, солі лужних металів, галогенне забруднення. Продуктивність сенсора погіршується при забрудненні солями лужних металів, особливо розсолем, або при контакті з галогенами, такими як фтор.

Контакт із водою. Чутливість сенсора знижується при потраплянні або зануренні у воду. Заморожування призводить до втрати чутливості сенсора. Напруга, що перевищує номінальне значення, може пошкодити лінію або нагрівач, а також змінити характеристики чутливості сенсора. Неправильне підключення виводів може спричинити обрив виводів і порушення функціональності сенсора.

Умови, яких слід уникати:

- Конденсація води. У приміщеннях незначна конденсація води незначно впливає на продуктивність сенсора. Проте тривала конденсація на поверхні сенсора знижує його чутливість.
- Тривалий вплив високих концентрацій газів. Довготривалий контакт із високими концентраціями газів, незалежно від живлення, негативно впливає на характеристики сенсора.
- Тривале зберігання без живлення. При тривалому зберіганні без живлення опір сенсора може зазнавати оборотного дрейфу. Такі сенсори потребують часу на стабілізацію перед використанням.
- Довготривалий вплив несприятливого середовища. Вплив високої вологості, температури або забруднення негативно позначається на продуктивності сенсора.
- Вібрація. Постійна вібрація може призвести до зниження реакції виводів сенсора. Вібрація може виникати під час транспортування, складання або використання пневматичних інструментів/ультразвукових зварювальних апаратів.
- Сильні удари. Сильні удари можуть спричинити від'єднання вивідних проводів сенсора.

Для забезпечення виявлення незначних концентрацій диму в різних умовах використовують формулу інтенсивності розсіяного світла:

$$I_r = I_0 \cdot e^{-\alpha x}, \quad (2.1)$$

де:  $I_r$  — інтенсивність розсіяного світла  $I_0$  — початкова інтенсивність світла.  $\alpha$  — коефіцієнт поглинання, який залежить від концентрації частинок продуктів горіння,  $x$  — відстань де відбувається розсіювання.

## 2.7 Мікроконтролер ATMEGA 32A

Мікроконтролер – це, по суті, комп'ютер на чипі. Це компактний мікрокомп'ютер, призначений для керування вбудованими електронними



системами в різних застосуваннях, таких як автомобілі, побутова техніка, офісне обладнання, роботи, медичні пристрої, торговельні автомати, мобільні радіоприймачі та інші електронні пристрої. Зазвичай мікроконтролер включає процесор, таймери, пам'ять, годинник/осцилятор та інші периферійні пристрої. Основна відмінність між мікроконтролером і мікропроцесором полягає в тому, що мікропроцесор є інтегральною схемою лише з центральним процесором, без пам'яті, як у мікроконтролері. Мікропроцесори використовуються для загальних застосувань. Atmel ATmega32A – це 8-бітний мікроконтролер із низьким енергоспоживанням на базі вдосконаленої архітектури AVR RISC. Пристрій виготовлено за технологією високої щільності енергонезалежної пам'яті від Atmel.

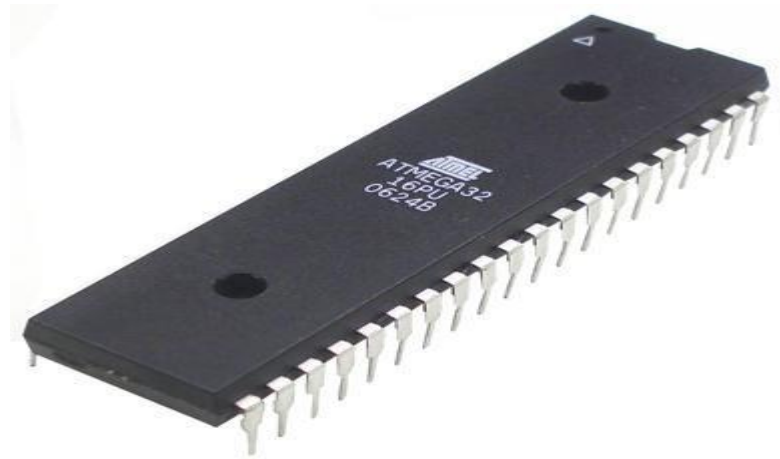


Рисунок 2.13 – Atmel ATmega32A

Характеристики Atmel ATmega32A. Високопродуктивний, енергоефективний 8-бітний мікроконтролер Atmel AVR. Вдосконалена архітектура RISC(131 потужна команда, більшість виконується за один такт,  $32 \times 8$  регістрів загального призначення, повністю статична робота, пропускна здатність до 16 MIPS на частоті 16 МГц, вбудований 2-тактний множник, енергонезалежна пам'ять із високою витривалістю, 32 КБ флеш-пам'яті з можливістю самопрограмування в системі, 1024 Б EEPROM, 2 КБ внутрішньої SRAM, цикли запису/стирання: 10 000 для флеш / 100 000 для EEPROM, збереження даних: 20 років при 85°C / 100 років при 25°C.

Додатковий розділ завантажувального коду з незалежними бітами блокування, програмування в системі через вбудовану програму

завантаження, операція читання під час запису, програмний захист для безпеки, інтерфейс JTAG, можливості сканування меж відповідно до стандарту JTAG, розширена підтримка внутрішньої відладки, програмування флеш, EEPROM, запобіжників і бітів блокування через JTAG.

Периферійні функції: два 8-бітних таймера/лічильника з окремими попередніми дільниками та режимами порівняння, один 16-бітний таймер/лічильник з окремим попереднім дільником, режимами порівняння та захоплення, лічильник реального часу з окремим осцилятором, чотири канали ШІМ, 8-канальний 10-бітний АЦП, 8 одноканальних каналів, 7 диференціальних каналів (лише в корпусі TQFP), диференціальні канали з програмованим підсиленням (1x, 10x, 200x), двопровідний послідовний інтерфейс, орієнтований на байти, програмований послідовний USART, послідовний інтерфейс SPI у режимі ведучий/ведений, програмований сторожовий таймер із вбудованим осцилятором, вбудований аналоговий компаратор, входи/виходи та корпуси, 32 програмовані лінії введення/виведення.

Корпуси: 40-вивідний PDIP, 44-вивідний TQFP, 44-контактний QFN/MLF, робочі напруги: 2.7–5.5 В, частотні діапазони: 0–16 МГц, споживана потужність при 1 МГц, 3 В, 25°C, активний режим: 0.6 мА, режим очікування: 0.2 мА, Режим вимкнення: < 1 мкА.

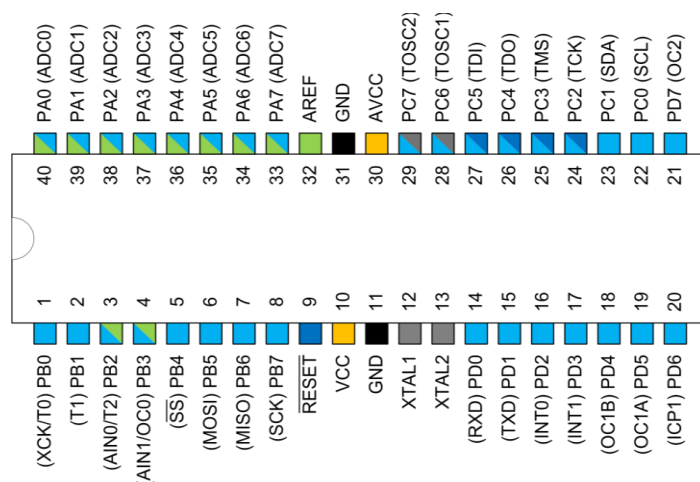


Рисунок 2.14 – Схема виводів PDIP ATmega 32A

Виводи: VCC – вивід цифрової напруги живлення. GND – Це вивід

заземлення. Порт А (РА7:РА0) використовується як аналогові входи для АЦП. Також може служити як 8-бітний двонаправлений порт введення/виведення, якщо АЦП не використовується. Порт В (РВ7:РВ0) є 8-бітним двонаправленим портом введення/виведення з внутрішніми підтягуючими резисторами (налаштовуються для кожного біта). Порт С (РС7:РС0) є 8-бітним двонаправленим портом введення/виведення з внутрішніми підтягуючими резисторами (налаштовуються для кожного біта). Якщо активовано інтерфейс JTAG, підтягуючі резистори на виводах РС5(TDI), РС3(TMS) і РС2(TCK) будуть увімкнені навіть після скидання. Вивід TDO перебуває в три-станному режимі, якщо не введено стан TAP для зсуву вихідних даних. Порт D (PD7:PD0) є 8-бітним двонаправленим портом введення/виведення з внутрішніми підтягуючими резисторами (налаштовуються для кожного біта).

RESET - вхід скидання. Низький рівень на цьому виводі тривалістю більше мінімальної довжини імпульсу викликає скидання, навіть якщо годинник не працює. Мінімальна довжина імпульсу вказана в характеристиках системи та скидання. Коротші імпульси не гарантують скидання.

XTAL1 - вхід до інвертуючого підсилювача осцилятора та вхід до внутрішньої схеми керування годинником. XTAL2 – вихід із інвертуючого підсилювача осцилятора. AVCC – це вивід напруги живлення для порту А та АЦП. Його слід зовнішньо підключити до VCC, навіть якщо АЦП не використовується. Якщо АЦП використовується, AVCC потрібно підключити до VCC через низькочастотний фільтр. AREF – це вивід аналогової опорної напруги для АЦП.

## 2.8 Рідкокристалічний дисплей

Рідкокристалічний дисплей (РКД) – це плоский екран або інший електронний візуальний дисплей, який використовує властивості рідких кристалів для модуляції світла. РК-екрани є енергоефективнішими та безпечнішими для утилізації порівняно з електронно-променевими трубками (ЕПТ). Низьке споживання електроенергії дозволяє ефективно використовувати їх у пристроях із батарейним живленням. Це оптично-

модульований пристрій, що складається з сегментів, які керують шаром рідких кристалів, розташованих перед джерелом світла (підсвіткою) або відбивачем, для створення кольорових або монохромних зображень [9].



Рисунок 2.13 – Зображення РКД

Термін "рідкий кристал" описує речовину, що перебуває між рідким і твердим станами, але має властивості обох. Молекули рідких кристалів вибудовуються в одному напрямку, що дозволяє речовині текти як рідина. Залежно від температури та природи речовини, рідкі кристали можуть існувати в різних фазах. У технології РКД використовуються нематичні рідкі кристали, у яких молекули не мають просторового порядку.

Важлива особливість рідких кристалів – їх реакція на електричний струм. Нематичні кристали типу "скручені нематіки" (TN) природно закручені, але під дією електричного струму розкручуються залежно від напруги. РКД використовують ці кристали через їх передбачувану реакцію на струм, що дозволяє контролювати проходження світла.

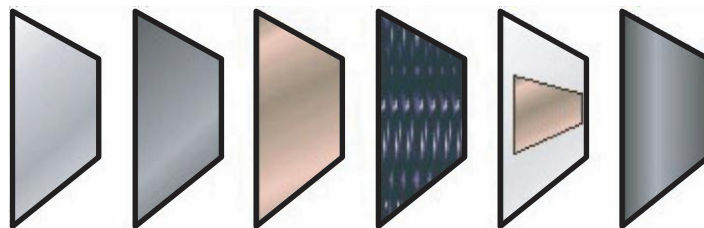


Рисунок 2.15 – Принцип роботи простого РКД

На задній частині розташовано дзеркало, яке забезпечує відбивну здатність. Є скляна пластина із поляризаційною плівкою знизу та загальною електродною площиною з оксиду індію-олова зверху, що покриває всю поверхню РКД. Над нею розташовано шар рідких кристалів. Далі йде ще одна скляна пластина з електродом у формі прямокутника знизу та іншою поляризаційною плівкою зверху, розташованою під прямим кутом до першої.

Електрод під'єднаний до джерела живлення, наприклад, батареї. Без струму світло, що потрапляє на РКД, відбивається від дзеркала назад. При подачі струму рідкі кристали між електродами розкручуються, блокуючи світло, що створює чорну область у формі прямокутника.

Рідкі кристали не випромінюють власного світла. Невеликі та недорогі РКД часто є відбивними, тобто для відображення зображень вони використовують зовнішнє світло. У годинниках із РКД цифри з'являються там, де електроди заряджають кристали, розкручуючи їх, щоб світло не проходило через поляризаційну плівку.

РКД із підсвіткою освітлюються флуоресцентними трубками, розташованими над, збоку або позаду екрана. Біла дифузійна панель за РКД рівномірно розподіляє світло. Під час проходження через шари кристалів, фільтри та електроди втрачається понад половина світла, як у РКД комп'ютерів.

У відбивному режимі зовнішнє світло використовується для освітлення дисплея за допомогою відбивача, поєднаного з задньою поляризаційною плівкою. Цей режим ефективний на вулиці або в добре освітлених офісах. Трансмівні РКД мають прозорий задній поляризатор і не відбивають світло, потребуючи підсвітки для видимості в умовах низького освітлення. Трансфлексивні РКД поєднують відбивний і трансмісивний режими, дозволяючи використовувати їх за будь-якого освітлення. Підсвітку можна вимкнути за достатнього світла, економлячи енергію, або ввімкнути в темряві для яскравого зображення. Трансфлексивні РКД не втрачають видимості на прямому сонячному світлі.

Особливістю режиму перегляду є тип зображення: позитивне (світлий фон із темними символами, ефективне для відбивного/трансфлексивного режиму) або негативне (темний фон зі світлими символами, зазвичай у трансмісивному режимі з потужною підсвіткою). Для графіки негативний трансмісивний режим часто інвертується, забезпечуючи світлий фон із темними символами для кращої читабельності.

Порогова напруга ( $V_{th}$ ) – це напруга, необхідна для активації пікселя.

Чіткість відгуку визначається різницею напруги між 10% і 90% яскравості ( $V_{90}-V_{10}$ ). Час перемикання пікселів ( $T_{on}$  і  $T_{off}$ ) вказує на тривалість між увімкненням/вимкненням напруги та 90% яскравістю/темрявою. Зазвичай  $T_{off}$  більший, оскільки кристали повертаються до початкового стану без зовнішньої сили. Час перемикання залежить від орієнтаційної в'язкості кристалів.

Контрастність РКД вимірюється як різниця яскравості між увімкненим і вимкненим пікселем, поділена на більше значення, або як коефіцієнт контрастності (більша яскравість, поділена на меншу). Типові РКД мають коефіцієнт контрастності 10–40, але він залежить від кута огляду, оскільки кристали оптимально працюють для світла, що проходить перпендикулярно. При бічному огляді контрастність знижується, іноді з'являється негативне зображення.

РКД можуть відображати довільні зображення (як у комп'ютерних моніторах) або фіксовані зображення з низьким інформаційним вмістом (слова, цифри, 7-сегментні дисплеї, як у цифрових годинниках). Довільні зображення формуються з багатьох дрібних пікселів, тоді як інші дисплеї мають більші елементи.

РКД застосовуються в моніторах, телевізорах, панелях приладів, дисплеях кабін літаків, вивісках, а також у побутових пристроях (DVD-плеєри, ігрові пристрої, годинники, калькулятори, телефони). Вони замінили ЕПТ у більшості застосувань завдяки широкому діапазону розмірів, відсутності вигорання зображення через фосфор, але чутливі до залишкових зображень [9].

Пасивна матриця РКД використовують просту сітку для подачі заряду на конкретні пікселі. Пасивно-матричні РКД складаються з двох скляних підкладок: одна з рядками, інша з колонками, виготовленими з прозорого провідного матеріалу. Рідкі кристали розміщені між підкладками, а поляризаційна плівка нанесена ззовні. Для активації пікселя інтегральна схема подає заряд на відповідну колонку однієї підкладки та активує заземлення на відповідному рядку іншої. Перетин рядка і колонки доставляє напругу, що

розкручує кристали в пікселі. Зі збільшенням яскравості або розміру дисплея цей процес ускладнюється через потребу у вищих струмах. Струм має постійно подаватися для освітлення пікселя, тому пасивно-матричні дисплеї використовуються в недорогих, простих застосуваннях.

Активно-матричні дисплеї частіше оновлюють екран порівняно з пасивно-матричними та використовують окремі транзистори для керування зарядом кожної комірки шару рідких кристалів. Найпоширеніший тип – на основі технології TFT, яку часто ототожнюють із активною матрицею. На відміну від пасивної матриці, що використовує провідну сітку, активна матриця застосовує сітку транзисторів, які утримують заряд, подібно до конденсатора. Завдяки перемикальній дії транзисторів заряд отримує лише потрібний піксель, що покращує якість зображення. Тонкоплівкові транзистори утримують заряд до наступного оновлення, забезпечуючи стабільність пікселя.

Основні технології перемикання TFT: аморфний кремній (a-Si), полікристалічний кремній (p-Si) та монокристалічний кремній (x-Si). Матриця транзисторів зазвичай виготовлена з аморфного кремнію (a-Si). РКД на основі a-Si TFT є стандартом для масового виробництва, забезпечуючи гарне відтворення кольорів, градацій сірого та швидку реакцію [10].

### **3 МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ДАТЧИКУ ВИМІРЮВАННЯ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ ПРОДУКТАМИ ГОРІННЯ**

#### **3.1 Обробки сигналів у системах виявлення речовин горіння**

Обробка сигналів є ключовою складовою сучасних систем виявлення диму, оскільки дозволяє здійснювати високоточний аналіз і обробку вхідних даних у реальному часі. Ці системи здатні фільтрувати шумові перешкоди, аналізувати сигнали на різних рівнях та адаптуватися до змін у навколишньому середовищі, що робить їх надзвичайно ефективними у виявленні пожежі.

На першому етапі роботи оптико-електронного детектора диму світло від джерела проходить через повітря і відбивається або розсіюється частинками диму. Оптичні сенсори виявляють ці зміни в інтенсивності світла, що передається на вхід мікропроцесора як аналоговий сигнал. Далі цей сигнал перетворюється в цифровий і обробляється з використанням спеціальних алгоритмів для виявлення відхилень, що можуть вказувати на присутність диму [27].

Сучасні мікропроцесорні системи в оптико-електронних детекторах використовують методи цифрової фільтрації для видалення перешкод і шумів, спричинених пилом, водяною парою або змінами освітлення. Цей процес дозволяє знизити кількість хибних спрацювань і підвищити загальну точність системи [28]. Наприклад, фільтри Калмана, які використовуються для згладжування шумів і виявлення аномалій у сигналі, є одним з популярних рішень у таких системах [29].

Одним із основних підходів до обробки сигналів є пороговий аналіз, коли мікропроцесор порівнює рівень сигналу із заздалегідь визначеними пороговими значеннями. Якщо інтенсивність сигналу перевищує поріг протягом певного часу, активується сигнал тривоги. Такий метод дозволяє знизити кількість хибних тривог і точно виявляти пожежі на ранніх стадіях [30].

Однак більш сучасні системи включають динамічні алгоритми, що враховують зміну сигналу в часі та його швидкість зростання. Це дозволяє



відрізняти реальні небезпеки від випадкових перешкод, таких як короточасні підвищення концентрації диму через несправність техніки або інші тимчасові фактори [27]. Такий підхід є надзвичайно ефективним у середовищах, де можуть виникати постійні перешкоди, наприклад у промислових приміщеннях або на будівельних майданчиках.

Крім того, сучасні мікропроцесорні системи можуть адаптуватися до умов експлуатації за допомогою функцій самонавчання. Це означає, що детектори здатні автоматично змінювати свої порогові значення залежно від змін у навколишньому середовищі, таких як підвищення рівня запиленості або вологості. Це значно підвищує їхню ефективність і точність у складних умовах [31].

Ще однією важливою функцією мікропроцесорів є можливість інтеграції детекторів у багатоканальні системи. У таких системах кілька детекторів можуть працювати разом, обмінюючись інформацією та надаючи колективну оцінку ризику. Це дозволяє виявляти пожежі з більшою точністю, оскільки кожен детектор доповнює роботу інших, що особливо важливо для великих об'єктів, де важливим є точне визначення місця загоряння [32].

Таким чином, використання мікропроцесорної обробки в оптико-електронних детекторах диму забезпечує значні переваги в плані точності та надійності роботи. Ці системи дозволяють значно зменшити кількість хибних спрацювань і забезпечити ефективну роботу в складних умовах, що робить їх незамінними для сучасних систем пожежної безпеки. Системи виявлення диму, що базуються на оптико-електронних технологіях, покладаються на різноманітні алгоритми для ідентифікації присутності диму, а також для зменшення ризику помилкових спрацювань. Алгоритми є критично важливими, оскільки вони визначають, наскільки точно та надійно система може реагувати на загрози, що виникають у навколишньому середовищі.

### **3.2 Моделювання методу розпізнавання частинок забруднення**

Першим етапом у процесі виявлення диму є отримання даних від оптичного сенсора. Цей сенсор вимірює зміни в інтенсивності світла, що

розсіюється частинками диму. Коли детектор отримує сигнал, алгоритм порівнює його з базовими значеннями, закладеними у пам'яті системи. Це порівняння дозволяє виявити відхилення, які свідчать про наявність диму.

Сигнал, отриманий від сенсора, позначимо як  $S(t)$ . Базове значення сигналу (сигнал без диму) позначимо як  $S_0$ . Відхилення сигналу від базового значення:

$$\Delta S(t) = S(t) - S_0, \quad (3.1)$$

де:  $\Delta S(t)$  — зміна сигналу,  $S(t)$  — сигнал, що надходить на обробку,  $S_0$  — базовий рівень сигналу, визначений при калібруванні.

Для виявлення диму використовується порогове значення  $\tau$ . Якщо  $\Delta S(t) > \tau$ , сигнал вважається з ознакою диму:

$$H_d = \begin{cases} 1, & \text{якщо } |\Delta S(t)| > \tau \\ 0, & \text{якщо } |\Delta S(t)| \leq \tau \end{cases} \quad (2.2)$$

де  $H_d$  — логічний індикатор наявності диму (1 — дим виявлено, 0 — дим відсутній).

На рисунку 2.1 показана блок-схема алгоритму порівняння сигналів.



Рисунок 3.1 – блок-схема алгоритму порівняння сигналів

На цьому етапі алгоритм використовує певні порогові значення, які визначають, що вважається "нормальним" рівнем інтенсивності світла. Якщо отримане значення перевищує ці пороги, система переходить до наступного

етапу обробки сигналів. Важливим є те, що порогові значення можуть коригуватися на основі даних, зібраних під час попередніх спостережень, що дозволяє підвищити ефективність системи в різних умовах експлуатації [30].

### 3.3 Розрахунок концентрації оксиду нітрогену ( $NO$ )

Гранично допустима концентрація оксиду нітрогену у повітрі складає  $0,085 \text{ мг/м}^3$ . Нехай підприємство має одне джерело викидів, висотою  $19,4 \text{ м}$  та діаметром  $1,1 \text{ м}$ . Температура ГПВ та навколишнього середовища рівна  $104,1$  та  $20^\circ\text{C}$  відповідно. Викиди забруднюючої речовини складають  $0,0815 \text{ г/с}$ . Швидкість виходу фенолу з труби  $0,5 \text{ м/с}$  [37] – [40].

Розрахувавши усі коефіцієнти та параметри маємо наступні результати.

$$\begin{aligned} \omega &= 0.526 & f &= 9.62 \times 10^{-3} & v &= 0.841 & m &= 1.33 & n &= 1.715 \\ C &= 0.015 & d &= 6.803 & X &= 164.644 \end{aligned}$$

Як бачимо пік концентрації приходить на відстань  $165$  метрів. Це означає, що концентрація від джерела викиду буде збільшуватись до максимального значення на вказаній відстані, після чого буде поступово зменшуватись до нульового значення. Графік концентрації оксиду нітрогену в повітрі від відстані до джерела викиду зображено на рисунку 2.4.

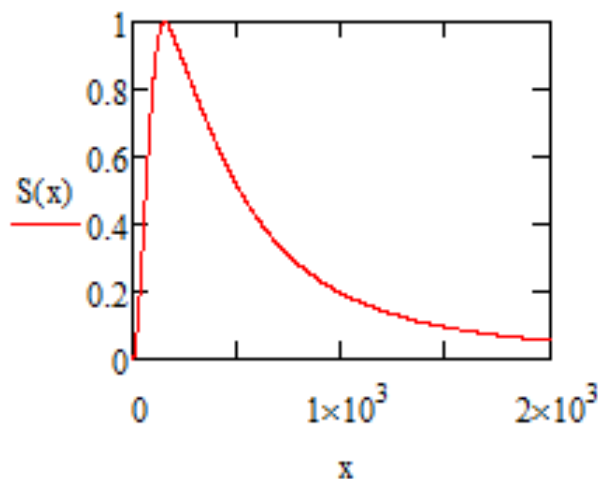


Рисунок 2.4 – Графік концентрації оксиду нітрогену в повітрі

### 3.4 Розрахунок концентрації оксиду карбону (CO)

Гранично допустима концентрація оксиду карбону у повітрі складає  $250 \text{ мг/м}^3$ . Нехай підприємство має джерело викидів, висотою  $29,4 \text{ м}$  та діаметром  $1,9 \text{ м}$ . Температура ГПВ та навколишнього середовища рівна  $124,5$  та  $20^\circ\text{С}$  відповідно. Викиди забруднюючої речовини складають  $0,0959 \text{ г/с}$ . Швидкість виходу фенолу з труби  $0,8 \text{ м/с}$ .

Розрахувавши усі коефіцієнти та параметри маємо наступні результати.

$$\begin{aligned} \omega &= 0.282 & f &= 1.675 \times 10^{-3} & v &= 0.921 & m &= 1.4 & n &= 1.62 \\ C &= 5.502 \times 10^{-3} & d &= 6.941 & X &= 254.985 \end{aligned}$$

Як бачимо пік концентрації приходить на відстань  $255$  метрів. Це означає, що концентрація від джерела викиду буде збільшуватись до максимального значення на вказаній відстані, після чого буде поступово зменшуватись до нульового значення. Графік концентрації оксиду карбону в повітрі від відстані до джерела викиду зображено на рисунку 2.5 [37] – [40].

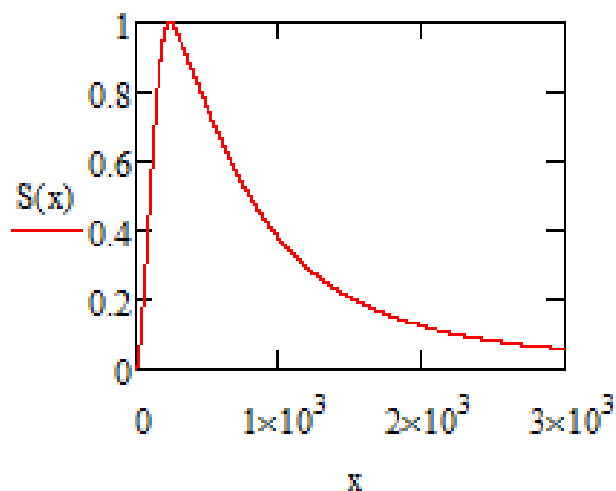


Рисунок 2.5 – Графік концентрації оксиду карбону в повітрі

### 3.5 Сенсор диму та пилу

Виявлення забруднюючих речовин може здійснюватися різноманітними оптоелектронними датчиками.

Датчик оксидів азоту або датчик  $\text{NO}_x$  служить для виявлення оксидів азоту (оксиду азоту, діоксиду азоту, закису азоту і ін.) В відпрацьованих газах.

Конструктивно датчик оксидів азоту включає дві камери, дві насосні осередки, кілька електродів і підігрівач. Сенсорний елемент датчика складається з діоксиду цирконію, в якому при напрузі негативно заряджені іони кисню переміщуються від негативного електрода до позитивного електрода.

Принцип роботи датчика  $\text{NO}_x$  заснований на вимірюванні кількості кисню. У першій (насосної) камері з відпрацьованих газів видаляється кисень, який ускладнює вимір оксидів азоту. При подачі напруги на електроди, молекули кисню розпадаються на іони і протікають через твердий електроліт з діоксиду цирконію. У другій (відновлювальній) камері оксиди азоту розпадаються на азот і кисень. Протікає при цьому струм пропорційний змісту оксидів азоту у відпрацьованих газах [20]. Схематично датчик зображено на рисунку 3.1.



Рисунок 3.4 Датчик виявлення  $\text{NO}_x$

Для оцінки забрудненості середовища існують також інші датчики. Наприклад ВОГ. Робота представленого волоконно-оптичного газоаналізатора (ВОГ) ґрунтується на принципі диференціального методу [21].

Джерело живлення 1 по чергово вмикає світловипромінюючі діоди 3, 3' з довжинами хвиль відповідно  $\lambda_1$  і  $\lambda_2$  ( $\lambda_1$  – довжина хвилі випромінювання, що

відповідає лінії поглинання газу;  $\lambda_2$  – опорна довжина хвилі випромінювання, що лежить за межами діапазону спектру поглинання газу, що аналізується), які поширюються по світловодах 2 та надходять до розгалужувача 4. Після розгалужувача випромінювання через світловод 5 потрапляє у вимірювальну кювету (відкритий канал) 6 з вбудованим на виході приймачем інфрачервоного випромінювання 7, спектральна сприйнятливість якого узгоджена з довжиною хвилі власного поглинання досліджуваного газу. Далі з приймача 7 електричні сигнали надходять до мікропроцесора 8, який їх обробляє і видає значення концентрації газу  $N$ .

Основне рівняння для розрахунку концентрації газу методом диференціального поглинання має наступний вигляд [21]:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{P_r(\lambda_2)}{P_r(\lambda_1)} \quad (3.1)$$

де  $N$  – парціальний тиск (концентрація) газу в повітряній суміші ( $N = 760$  Торр відповідає концентрації  $C=100\%$ );  $\lambda_1$  – довжина хвилі, що відповідає лінії поглинання газу (робоча довжина хвилі);  $\lambda_2$  – опорна довжина хвилі, що лежить за межами поглинання;  $l$  – довжина вимірювальної кювети (відкритого каналу) з газом;  $P_r(\lambda_i)$  (де  $i = 1, 2$ ) – потужність оптичного випромінювання на довжині хвилі  $\lambda_i$ , прийнята приймачем;  $\sigma(\lambda_i)$  – переріз поглинання газу на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

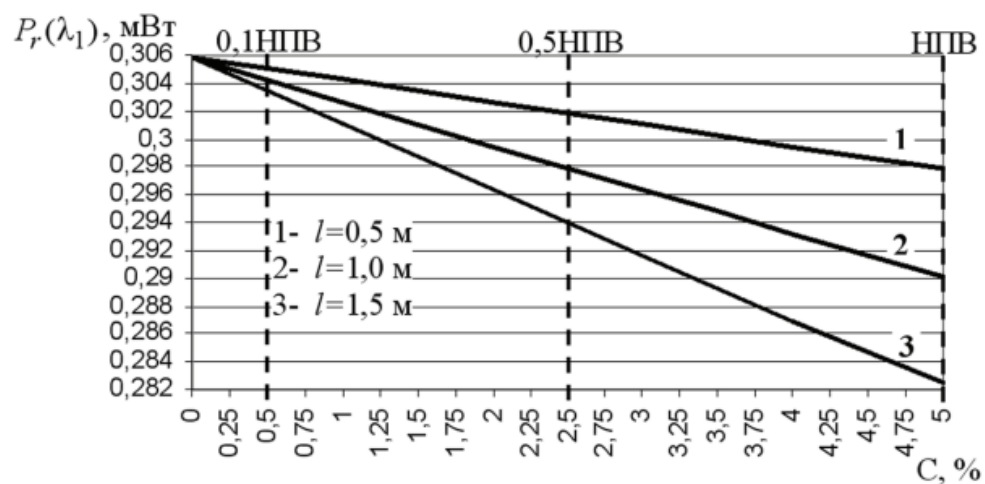


Рисунок 3.5 - Залежність вихідної потужності  $P_r(\lambda_1)$  від концентрації метану. Робоча довжина хвилі 1331нм. Потужність введенного випромінювання 2 мВт; загальна довжина волоконного тракту 10м ( $\alpha=0,5$ дБ/км); втрати в оптичних елементах 8 дБ [27].

За вихідними потужностями оптичного випромінювання  $P_r(\lambda_i)$  проведено розрахунки параметрів волоконно-оптичного газоаналізатора, призначеного для реєстрації метану, з урахуванням втрат потужності світлового потоку у елементах волоконно-оптичного сенсора [28].

Важливе значення для даного датчика концентрації газу має вибір приймача випромінювання, оскільки рівень шуму приймача випромінювання визначає чутливість сенсора. Потоки випромінювання з потужністю  $P_r(\lambda_1)$  і  $P_r(\lambda_2)$  при попаданні інфрачервоного випромінювання на приймач створюють на його виході зміну напруги  $\Delta(U_1)$  і  $\Delta(U_2)$ , пропорційно до ступеня ослаблення потоків, відповідно, яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Тоді рівність (1) матиме вигляд:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1} \quad (3.2)$$

де  $\Delta U_1$ ,  $\Delta U_2$  - зміна напруг на приймачі. При використанні оптично-частотного перетворювача [22], на його виході, пропорційно до ступеня ослаблення потоків, отримаємо зміну частот  $\Delta f_1$  і  $\Delta f_2$ , яка в свою чергу пропорційна концентрації газу, що аналізується. Використовуючи формулу (1) отримаємо наступне співвідношення:

$$N = \frac{1}{[\sigma(\lambda_1) - \sigma(\lambda_2)]l} \ln \frac{\Delta f_2}{\Delta f_1} \quad (3.3)$$

де  $\Delta f_1$ ,  $\Delta f_2$  - зміна частот на виході приладу при попаданні на нього потоку випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda_i$  ( $i = 1, 2$ ) відповідно, що пройшов через вимірювальну кювету (відкритий канал) з довжиною  $l$ .

Функціональна схема датчика наведена на рисунку 3.6.

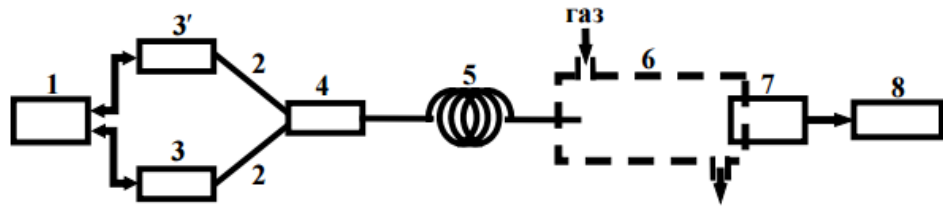


Рисунок 3.6 - Функціональна схема волоконно-оптичного газоаналізатора

Іншим типом датчиків для вимірювання загазованості повітря є інфрачервоні газоаналізатори. Дія таких газових датчиків ґрунтується на вибіркового поглинанні різними молекулами газів і парів інфрачервоного випромінювання в діапазоні 1-15 мкм. Дане випромінювання поглинають усі гази, молекули яких складаються з двох і більше різних атомів. Відмінність молекулярних спектрів поглинання різних газів дозволяє використовувати такі газові датчики в лабораторіях і промисловості для певних газів [25].

Діапазон концентрацій, які можна виміряти даними датчиками:  $10^{-3}$  - 100%. В дисперсійних газових датчиках застосовується випромінювання однієї довжини хвилі, отримане за допомогою призми, дифракційної решітки. Через особливості оптичної схеми газового датчика (застосування світлофільтрів, спеціальних приймачів випромінювання і т. д.) в недисперсійних газових датчиках використовують немонахроматичне випромінювання [28].

На рисунку 3.7 наведена найпоширеніша схема газосигналізатора. Через світлофільтр і робочу область, в яку подається аналізована суміш, послідовно проходить випромінювання від джерела і потрапляє в спеціальний приймач. У разі якщо в аналізованій суміші присутній компонент, що визначається, то в залежності від концентрації він поглинає частину випромінювання, а реєстрований сигнал пропорційно змінюється. Джерелом випромінювання служить нагріта спіраль з широким спектром випромінювання, ГЧ-лазер або світлодіод, що випускають випромінювання у вузькій області спектра. Якщо



використовується джерело немонохроматичного випромінювання, вибірка досягається за допомогою селективного приймача [29].

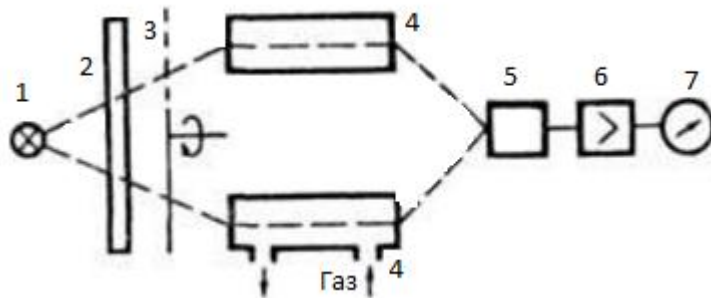


Рисунок 3.7 - Недисперсійний інфрачервоний газовий датчик: 1-джерело випромінювання; 2-світлофільтр; 3-модулятор; 4 і 4'-робочий й порівняльна (внизу) області; 5-приймач випромінювання; 6-підсилювач; 7-вторинний прилад.

Найбільш часто зустрічаються газові датчики з газонаповненим оптико-акустичним приймачем, що представляє собою герметичну камеру з вікном, заповнену газом, зміст якого необхідно виміряти. Даний газ, поглинаючи з потоку випромінювання певну частину з характерним для цього газу набором спектральних ліній, нагрівається, і як наслідок - тиск в камері збільшується. Потік випромінювання переривається з певною частотою за допомогою механічного модулятора, в слідстві чого з цієї ж частотою пульсує тиск газу в приймачі. Амплітуда коливання тиску - міра інтенсивності поглиненого газом випромінювання, яка залежить від того, яка частина характерного випромінювання поглинається тим же газом в робочій області. Інші компоненти суміші випромінювання на даних довжинах хвиль не поглинаються. Тому амплітуда коливання тиску в приймачі випромінювання - міра кількості визначається компонента (газу) в аналізованій суміші, що проходить через робочу область. Зміна тиску вимірюють конденсаторним мікрофоном або мікроанемометром (датчиком витрати газу). Замінюючи газ в приймачі випромінювання оптико-акустичного газового датчика, можна вибірково вимірювати вміст різних компонентів сумішей.

З допомогою інфрачервоних газових датчиків визначають, наприклад, CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub> в технологічних газах виробництва синтетичного аміаку, пари ряду розчинників в повітрі промислових приміщень, оксиди азоту, SO<sub>2</sub> і т. д. [23].

Також для виявлення забруднюючих речовин використовуються хімічні сенсори. ХС складається з хімічного селективного шару датчика, що дає відгук на присутність обумовленого компонента і зміна його змісту, і фізичного перетворювача (трансдюсера). Останній перетворить енергію, що виникає в ході реакції селективного шару з обумовленим компонентом, в електричний або світловий сигнал, що потім вимірюється за допомогою світлочутливого і/або електронного пристрою. Цей сигнал і є аналітичним, оскільки подає пряму інформацію про склад середовища (розчину). ХС можуть працювати на принципах хімічних реакцій, коли аналітичний сигнал виникає внаслідок хімічної взаємодії обумовленого компонента з чуттєвим шаром, або на фізичних принципах, коли вимірюється фізичний параметр (поглинання або відображення світла, маса, провідність). У першому випадку чуттєвий шар виконує функцію хімічного перетворювача. Загальна схема функціонування ХС зображена на рисунку. 3.8 [24].



Рисунок 3.8 - Схема роботи хімічного сенсора: Р - хімічно чуттєвий шар, П - перетворювач сигналу, Е - електронний блок.

На рисунку 3.9 показана схема роботи необоротного оптрона на кисень.



Рисунок 3.9 - Схема роботи необоротного волоконно-оптичного сенсора на кисень.

Обумовлений компонент дифундує через селективну мембрану з відповідним розміром пор у порожнину, що містить іммобілізований флуоресціюючий барвник. Його світіння гаситься в присутності  $O_2$  пропорційно парціальному тискові кисню. Ступінь гасіння фіксується відповідним пристроєм. Якщо резервуар із РВФ досить великий, то споживання реагенту незначно і сенсорний пристрій може служити довго [25].

Волоконно-оптичний сенсор для контролю аміаку в повітрі. Плоскохвильоводний оптичний хімічний сенсор чотирьохшарової конструкції [24,25,26]: підкладка з плавленого кварцу, що відіграє роль посередника для введення світла в хвилевід через торець посередника; полімерний хвилевід з поліметилметакрилата товщиною  $0,920 \pm 0,014$  мкм; чуттєвий шар - полідиметилсилоксан функціоналізований катіонами брильянтового зеленого (рисунок 3.10).

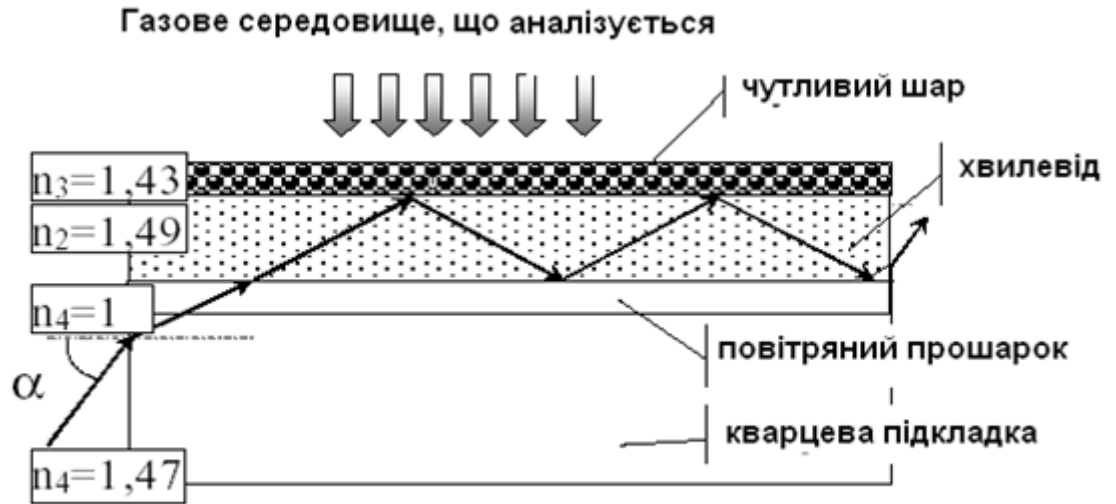


Рисунок 3.10 - Чотирьохшарова конструкція плоскохвильового оптичного хімічного сенсора.

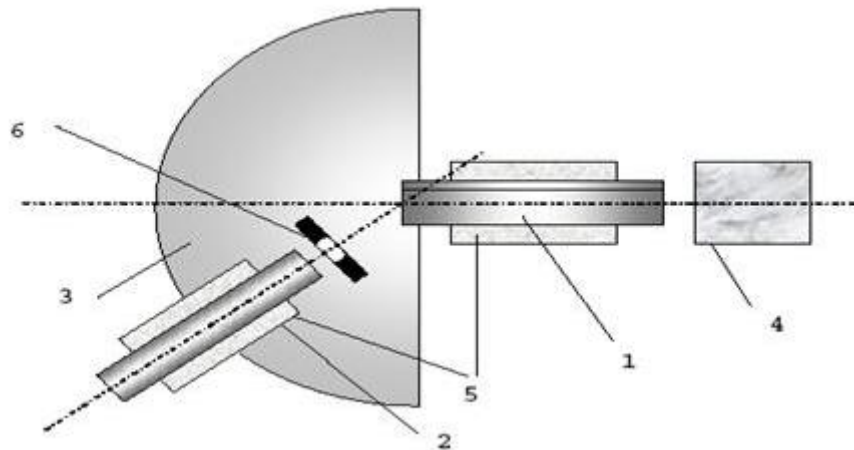


Рисунок 3.11 - Вимірювальна система: 1 - зразок, 2- лазер, 3 - поворотний пристрій, 4 -фотоприймач, 5 - тримачі, 6 - діафрагма.

Усі дані із датчиків передаються до бази даних системи, де вони зберігаються.

Для моніторингу забруднення повітря було обрано лазерний датчик PM2.5 PMS3003 - представник універсальних цифрових оптичних (лазерних) датчиків пилу в повітрі третього покоління. Особливістю датчика є висока точність підрахунку кількості частинок, досягнута за рахунок внутрішньої обробки сигналу реєстратора пилу високопродуктивним мікро контролером Cypress CY8C4245. Датчик оснащений послідовним UART інтерфейсом з

рівнем 3.3В, що дозволяє використовувати його з 5В і 3В мікроконтроллерами [26-28].



Рисунок 3.12 - Лазерний датчик PM2.5 PMS3003

Характеристики:

- Одиниці виміру: кількість частинок
- Діапазони вимірювання: від 0.3 до 1.0; від 1.0 до 2.5; від 2.5 до 10 (мм)
- Точність підрахунку: 50% @ 0.3  $\mu\text{m}$  98% @  $> 0.5 \mu\text{m}$
- Час відгуку:  $\leq 10$  сек
- Напруга живлення: 5В
- Споживаний робочий струм: 120 мА
- Струм в режимі очікування:  $\leq 200$  мкА
- Напруга інтерфейсної логіки:  $<0.8 @ 3.3 \text{ H} > 2.7 @ 3.3 \text{ V}$
- Робочий діапазон температур: від -20 до + 50 ° С
- Робочий діапазон вологості: від 0 до 99%
- Середній час напрацювання на відмову:  $\geq 3$  років
- Розміри: 65 × 42 × 23 мм

Лазерний датчик пилу PM2.5 являє собою цифровий універсальний датчик концентрації частинок. Він може бути використаний для отримання кількості зважених часток в одиниці об'єму повітря в межах від 0,3 до 10 мікрон, тобто концентрація твердих частинок, і вихід з цифровим інтерфейсом, також може виводити дані про якість на одну частинку. Датчики якості повітря можуть бути вмонтовані в різних концентраціях пов'язаних з навколишнім середовищем інструментів зважених твердих частинок у повітрі, щоб забезпечити своєчасні і точні дані про концентрацію.

Датчик PM2.5 використовує теорію лазерного розсіювання. А саме розсіювання лазерного випромінювання у повітрі зважених частинок, під час

збору розсіяного світла під певним кутом, щоб отримати інтенсивність розсіювання в порівнянні з годографом (кривою залежності від часу). Після збору даних мікропроцесора отримується залежність між тимчасовою областю і частотною областю за допомогою перетворення Фур'є, а потім через ряд складних алгоритмів, щоб отримати кількість частинок в еквівалентних обсягах і об'ємних одиницях різного розміру [29]. Кожну функціональну блок-схему частини датчика, показано на рисунку 3.13.

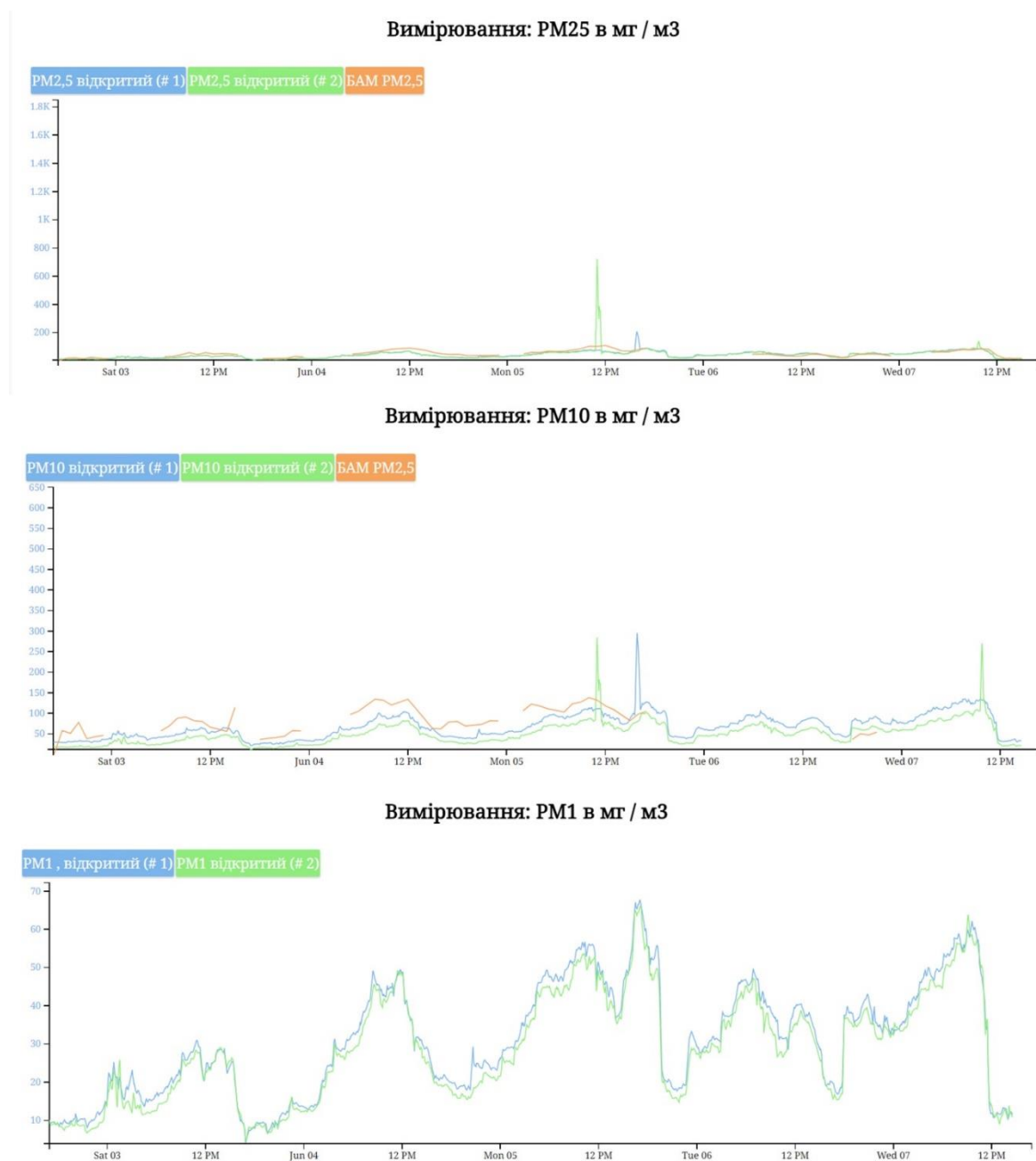


Рисунок 3.13 - Графіки часових рядів

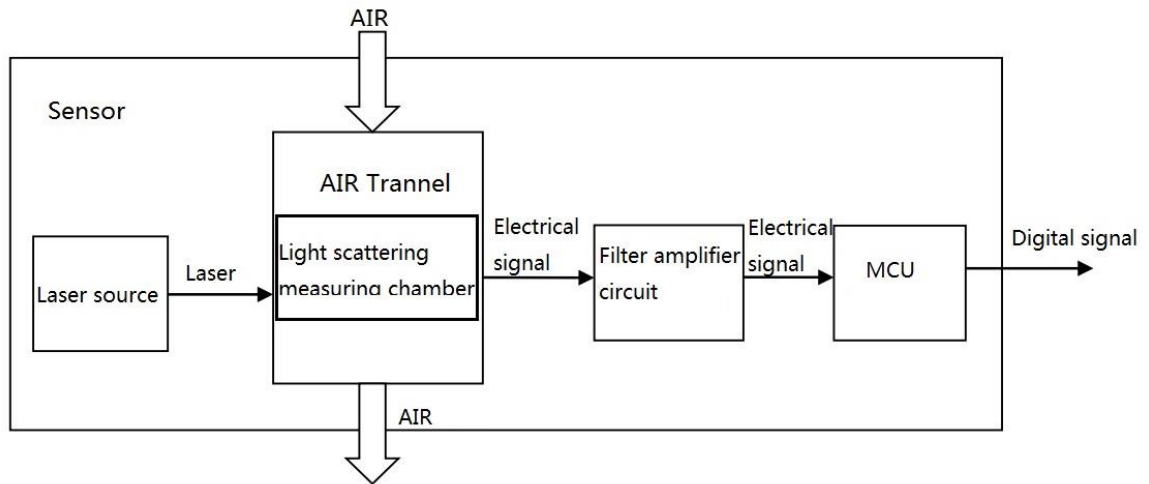


Рисунок 3.14 - Функціональна блок-схема датчика PM2.5

Для вимірювання ступеня запиленості або задимленості повітря обрано оптичний датчик GP2Y1010AU0F. Дуже зручний датчик для автоматизації управління системою вентиляції і кондиціонування повітря. Принцип роботи датчика заснований на вимірюванні фотодатчиком ступеня розсіювання інфрачервоного випромінювання світлодіода в вимірюваній середовищі. Вимірювання проводиться в імпульсному режимі, що різко знижує споживаний від джерела живлення струм [30].



Рисунок 3.15 - Оптичний датчик GP2Y1010AU0F

Характеристики:

- Принцип роботи: вимір розсіювання потоку інфрачервоного випромінювання
- Тип датчика: аналоговий

- Розміри:  $46.0 \times 30.0 \times 17.6$  мм
- Струм: 20mA імпульсний на час вимірювання
- Розрізняє дим від пилу різних вихідною напругою
- Час вимірювання: 32 мс
- Час встановлення параметрів вимірювання: 28 мс
- Виконано відповідно до вимог RoHS (2002/95 / EC)

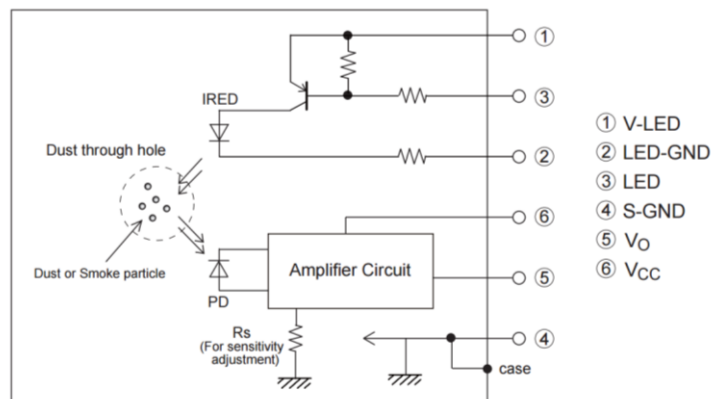


Рисунок 3.16 – Схема електрична датчика GP2Y1010AU0F

Схема електрична принципова пристрою екологічного моніторингу в режимі реального часу наведена в Додатку Б.

### 3.6 Розробка коду моделювання роботи системи із оптичним датчиком

Основною задачею роботи було створення схеми, яка виявляє продукти і активує сигнал сповіщення. Проектування системи поділено на наступні етапи: проектування апаратного забезпечення, проектування програмного забезпечення, тестування.

Сенсор здатний виявляти продукти горіння у діапазоні від 300 до 10 000 ppm, видаючи аналоговий вихідний сигнал напругою від 0 В до 5 В залежно від концентрації диму. Чутливим матеріалом є  $\text{SnO}_2$ , який має нижчу провідність у чистому повітрі. Провідність зростає зі збільшенням концентрації горючих газів, що призводить до генерації відповідної аналогової напруги на виході.



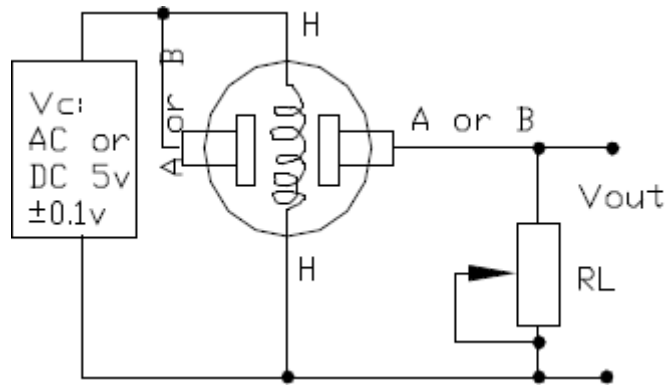


Рисунок 3.1– Базова вимірювальна схема для MQ2

Мікроконтролер Atmega 32A було обрано через його відносно великий обсяг флеш-пам'яті (32 КБ) та наявність 32 програмованих ліній введення/виведення.

Таблиця 3.1 – Функції виводів

| Функція виводів                    | Кількість виводів |
|------------------------------------|-------------------|
| Вхід сенсора                       | 1                 |
| Дані РК-дисплея                    | 4                 |
| Керування РК-дисплеєм              | 2                 |
| Живлення                           | 2                 |
| Візуальні сигнали<br>(світлодіоди) | 5                 |
| Звуковий сигнал (зумер)            | 1                 |
| Вивід скидання                     | 1                 |
| AVCC та AREF                       | 2                 |

Метою використання РК-дисплея було відображення рівня виявленого диму та статусу системи. Використаний РК-дисплей має 16 символів у двох рядках.

РК-дисплей може працювати в 4-бітному або 8-бітному режимі. У цьому проєкті обрано 4-бітний режим через економію ліній введення/виведення. Відповідно, виводи D0, D1, D2 і D3 підключені до заземлення. Лінія R/W також підключена до заземлення, оскільки дані завжди записуються в РК-дисплей.

Світлодіоди використовувалися виключно для візуального сповіщення. Один зелений світлодіод увімкнено, коли в середовищі не виявлено значної кількості диму. У разі виявлення диму зелений світлодіод вимикається. Чотири червоні світлодіоди залишаються вимкненими за відсутності диму, але починають блимати, якщо дим виявлено.

Для кожного світлодіода потрібен резистор для обмеження струму. При напрузі живлення  $V_{cc}$  5 В мікроконтролер може забезпечити максимум 5 В, тоді як світлодіоду потрібно 20 мА для роботи та пряма напруга від 1.8 до 3.3 В. За законом Ома:

$$R = (V_s - V_f) / I_s,$$

$$R = (5 - 1.8) / (20 / 1000) = 160 \text{ Ом}$$

Для мінімізації струму було обрано резистор на 220 Ом, що забезпечує максимальний струм:

$$(5.0 \text{ В} - 1.8 \text{ В}) / 220 \text{ Ом} = 15 \text{ мА}$$

Обрано електромагнітний зумер із вивідним кріпленням через простоту монтажу на друковану плату та частоту звуку 2048 Гц, яка є чутною для більшості людей. Робоча напруга зумера становить 3–6 В, а максимальний струм – 60 мА. Зумер залишається вимкненим за відсутності значної кількості диму та активується при його виявленні. Він підключений до виведення PB0 мікроконтролера.

### 3.7 Сенсори $CO_2$

Принцип роботи інфрачервоних газоаналізаторів заснований на явищі поглинання фотонів молекулами речовини, що застосовуються в спектроскопії. Більшість газів поглинають світлове випромінювання певних

довжин хвиль, комбінація яких дозволяє говорити про хімічний склад даних газів. Кількість випромінювання яка поглинається пропорційна кількості молекул, отже концентрація обраховується за допомогою вимірювання інтенсивності світла при проході через вимірювальну камеру. За допомогою інфрачервоної спектроскопії можна реєструвати присутність або відсутність речовин, проте найбільшу ефективність цей метод має при визначенні концентрації  $CO_2$ .

Особливість  $CO_2$  це його висока здатність поглинання світла з довжиною хвилі 4,26 мкм. Так як дана довжина хвилі унікальна для  $CO_2$ , то вимірювання її інтенсивність вистачає для визначення кількості  $CO_2$  в повітрі. Це значно спрощує пристрій реєстратора, дозволяючи використовувати простий бездисперсний інфрачервоний (Nondispersive Infrared, NDIR) метод вимірювання.

Промінь світла, який проходить через вимірювальну камеру, потрапляє на фотоелемент, перед яким встановлено світлофільтр, що пропускає світло лише однієї довжини хвилі, в нашому випадку – 4,26 мкм. Чим вища концентрація  $CO_2$ , тим менша освітленість фотоелемента. Для забезпечення високої чутливості довжина світлового шляху має бути чим більшою, тому при створенні компактних газоаналізаторів використовується багаторазове відображення променя від внутрішніх стінок вимірювальної камери [51].

Сенсори для вимірювання концентрації  $CO_2$  компанії *Winsen*, характеристики яких приведено у таблиці 3.1, що використовують інфрачервоний метод, представляють малогабаритні термокомпенсовані вимірювачі з високою селективністю, яка не залежить від вмісту кисню в повітрі. Висока якість модулів досягається за рахунок поєднання ефективної технології виявлення вуглекислого газу, прецизійної оптичної системи з своєрідною схемотехнікою. Результати вимірювань можуть бути отримані в аналоговому, дискретному (ШІМ) або цифровому вигляді по інтерфейсу *UART* [52].

Сенсори  $MH - Z1x$ , рекомендовані для використання в системах опалення, вентиляції та кондиціонування, в холодильному обладнанні, приладах для контролю якості та очищення повітря, гео-інформаційних та інтелектуальних системах типу «Розумний будинок» або аналогічних. Сенсори  $MH - Z19$  менші за розміром та вагою, на базі яких розроблять більш компактні пристрої, що актуально для портативних і автомобільних додатків. Сенсор  $MH - Z14A$  має найбільшу точність вимірів, а модуль  $MH - Z14$  має найбільш широкий робочий діапазон, що найкращим чином підходить для агропромислового сектора. Особливість сенсора  $MH - Z16$  це наявність великої вимірювальної камери, що зменшує час відгуку, що актуально для навчального обладнання [51].

Для поставленої задачі оберемо датчик  $CO_2$   $MH - Z19$  – бездисперсний інфрачервоний аналізатор (або датчик  $NDIR$ ) являє собою простий датчик спектроскопічного типу, який використовується в якості детектора вуглекислого газу. Межа вимірювань до 5000  $ppm$  нижня межа близько 400  $ppm$  (природний рівень  $CO_2$  в атмосфері). Паспортна точність 50  $ppm$ . Час відгуку близько 30 секунд. При подачі живлення першу хвилину дає максимальні, або мінімальні значення, потім включається і видає реальні дані. Інформація з датчика виходить за ШІМ. У момент зчитування контролер вимірює шпаруватість сигналу на виходжу датчика і за формулою перетворює його в рівень  $CO_2$ .

Дані з якого зчитуються за допомогою формованого модулем сигналу ШІМ. Калібрування датчика  $CO_2$  може відбуватися як автоматичному так і в напівавтоматичному режимах. Розглянемо більш детально напівавтоматичний режим. Для цього використовуємо класичну команду 0x86 за допомогою якої ми отримаємо концентрацію  $CO_2$ . Величина  $S$  приймає значення ступенів двійки, а  $U$  при включенні датчика падає з 15 000 до 10 000.

### 3.8 Програмне забезпечення роботи системи

Для взаємодії мікроконтролера з сенсором, сигналами тривоги та РК-дисплеєм необхідно було розробити програмне забезпечення. Наступна блок-

схема ілюструє функціональність схеми та слугувала основою для проєктування програмного забезпечення.

Розробка програмного забезпечення була поділена на такі частини:

- програма для АЦП;
- програма для РК-дисплея;
- програма активації сигналів тривоги;
- основна програма.

Ця частина необхідна, оскільки сенсор MQ2 видає аналогову напругу, пропорційну кількості виявленого диму. Метою було перетворення аналогової напруги в цифрове значення, адже мікроконтролер працює з цифровими даними.

Мікроконтролер Atmega 32A має вбудований аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) із виводами на порті А. АЦП має 10-бітну роздільну здатність, що відповідає  $2^{10} = 1024$  рівням. Тип АЦП у мікроконтролері – послідовного наближення. Він має 8 каналів, тобто 8 виводів АЦП (РА0...РА7), які мультиплексуються.

Ініціалізація програми для АЦП

Регістр вибору мультиплексора АЦП (ADMUX) містить 8 бітів. Біти REFS1 і REFS0 (біт 7 і 6 відповідно) використовуються для вибору опорної напруги.

Оскільки як опорна напруга використовується Vcc (+5 В), обрано другу опцію. Для ініціалізації ADMUX використано наступний рядок коду:

`ADMUX = (1<<REFS0);`

Регістр керування та стану АЦП А (ADCSRA) містить 8 бітів:

- Біт 7 – Увімкнення АЦП (ADEN): АЦП не працює на порті А, якщо цей біт не встановлено.

- Біт 6 – Початок перетворення АЦП (ADSC): Для початку перетворення необхідно встановити цей біт у '1'.

- Біт 5 – Увімкнення автотригера АЦП (ADATE): Якщо встановлено в '1', АЦП автоматично запускається на кожному висхідному фронті тактового імпульсу.

- Біт 4 – Прапорець переривання АЦП (ADIF): Використовується для перевірки завершення перетворення. Після завершення перетворення та оновлення регістрів цей біт автоматично встановлюється в '1'.

- Біт 3 – Увімкнення переривання АЦП (ADIE): Якщо встановлено в '1', увімкнено переривання АЦП.

- Біти 2:0 – Біти вибору попереднього дільника АЦП (ADPS2:0): Попередній дільник (коефіцієнт ділення між частотою мікроконтролера та частотою АЦП) визначається вибором відповідної комбінації.

Зчитування значення АЦП.

```
uint16_t adc_read(uint8_t ch)
{
    // select the corresponding channel 0~7
    // ANDing with '7' will always keep the value
    // of 'ch' between 0 and 7
    ch &= 0b00000111; // AND operation with 7
    ADMUX = (ADMUX & 0xF8) | ch; // clears the bottom 3 bits before
    ORing
    // start single conversion
    // write '1' to ADSC ADCSRA
    |= (1<<ADSC);
    // wait for conversion to complete
    // ADSC becomes '0' again
    // till then, run loop continuously
    while(ADCSRA & (1<<ADSC));
    return (ADC);
}
```

### Програма для РК-дисплея

РК-дисплей було реалізовано в 4-бітному режимі замість 8-бітного. У цьому режимі байти даних поділяються на півбайти (nibbles). Перевага 4-бітного режиму полягає в економії виводів для підключення до мікроконтролера. Однак у 4-бітному режимі дані надсилаються по одному півбайту за раз, що подвоює час виконання порівняно з 8-бітним режимом.

Відображення даних у 4-бітному інтерфейсі передбачає надсилання старшого півбайта, а потім молодшого через чотири старші лінії даних РК-

дисплея. Після надсилання останнього півбайта виконується імпульс на лінії E (Enable). Програмне забезпечення має забезпечувати зчитування та запис на відповідні лінії порту, які використовуються для передачі даних, без зміни значень бітів порту, призначених для інших функцій.

Вивід R/W завжди підключений до низького рівня, оскільки дані лише записуються в РК-дисплей. Вивід RS підключено до PD0 і використовується для керування командами або символами, що надсилаються до дисплея. Вивід Enable підключено до PD1 і слугує для активації дисплея для введення команд у регістр або запису символів.

### Програма активації сигналів тривоги

Коли рівень виявленого диму перевищує встановлене значення, активується зумер, зелений світлодіод вмикається, червоні світлодіоди вмикаються, а на РК-дисплеї відображається статус «Дим виявлено». Доки схема підключена до живлення, сенсор постійно перевіряє наявність диму.

Для демонстрації встановлено порогове значення 3800 часток на мільйон (ppm). Наступний фрагмент коду відповідав за активацію сигналу тривоги:

```
if(adc_result0>380){
    PORTB = 0x01;//simultaneously switching on the buzzer and green
    LED off.

    PORTB ^= (1<<1);//Blinking the four red
    LEDs. PORTB ^= (1<<2);
    PORTB ^= (1<<3);
    PORTB ^= (1<<4);
    _delay_ms(1);
    PORTB ^= (1<<1);
    PORTB ^= (1<<2);
    PORTB ^= (1<<3);
    PORTB ^= (1<<4);
}
else{
    PORTB &=~(1<<1);//Switching off the red LEDs PORTB
    &=~(1<<2);
    PORTB &=~(1<<3); PORTB &=~(1<<4);
    PORTB = 0x20;//Switching on the green LEDs and switching off the buzzer
}
```

Спочатку схема була протестована на макетній платі, де підтвердилася її працездатність, після чого розпочався етап виготовлення. Це дозволило розмістити всю конструкцію на компактній платі, забезпечивши зручність і

естетичний вигляд. Виготовлення друкованої плати також сприяло кращій організації компонентів, підвищенню компактності та презентабельності дизайну.

Першим кроком було створення макета розташування компонентів у програмному забезпеченні, щоб визначити, як елементи будуть розміщені на платі перед їх перенесенням на друковану плату..

Потім макет надрукували на прозорому папері, після чого цей папір наклали на плату і піддали впливу ультрафіолетового світла. УФ-промені пом'якшували матеріал плати, крім ділянок із мідними доріжками. Далі плата оброблялася в розчині гідроксиду натрію, який залишав лише необхідні мідні доріжки.

Наступним етапом був процес травлення, під час якого послаблена мідь видалялася з плати, залишаючи лише потрібні мідні доріжки. Завершальним кроком було свердління отворів для компонентів та їх припайка до плати.



## ВИСНОВКИ

Основним завданням роботи було розробка системи, яка виявляє дим і активує сигнал тривоги для своєчасного попередження про можливу пожежу. Ця мета була успішно досягнута, оскільки розроблена система ефективно забезпечує моніторинг рівня забруднення повітря продуктами горіння, що є важливим для оцінки потенційних ризиків у різних середовищах.

Система побудована на основі сенсора, який вимірює концентрацію диму в діапазоні від 300 до 10 000 часток на мільйон (ppm), видаючи аналогову напругу, що перетворюється мікроконтролером Atmega 32A у цифрові дані. РК-дисплей постійно відображає концентрацію диму в ppm, надаючи користувачу чітку інформацію про стан повітря. Якщо концентрація диму перевищує критичний рівень, зелений світлодіод гасне, червоні світлодіоди починають блимати, а на РК-дисплеї з'являється повідомлення «ДИМ ВИЯВЛЕНО». Крім того, активується звуковий сигнал зумера, що підвищує ефективність сповіщення.

Ця система має значний потенціал для використання в побутових і промислових умовах для раннього виявлення диму, який є попередником пожежі. На відміну від теплових або температурних датчиків, які спрацьовують, коли вогонь уже розвинувся, димовий сповіщувач дозволяє виявити небезпеку на початкових етапах, що може врятувати життя та зменшити матеріальні збитки. Система також може застосовуватися для виявлення куріння в заборонених зонах, що сприяє дотриманню правил безпеки. Завдяки інтеграції з мікроконтролером система є гнучкою: один мікроконтролер може обробляти сигнали від кількох сенсорів, розташованих у різних місцях, за умови наявності вільних виводів для множинних входів і виходів. Це робить її адаптивною до потреб великих об'єктів, таких як склади чи офісні будівлі.

Вартість реалізації системи є відносно низькою, оскільки використані компоненти, такі як сенсор MQ2, мікроконтролер Atmega 32A, світлодіоди та зумер, є доступними на ринку та мають помірну ціну. Економічна ефективність робить цю систему привабливою для широкого впровадження в Україні,

особливо в умовах зростання кількості пожеж через воєнні дії та стихійне спалювання відходів. Система живиться від блоку, який підключається до мережі 240 В змінного струму та забезпечує стабільну робочу напругу 5 В, що гарантує надійну роботу всіх компонентів. Додатковою перевагою є компактність і простота монтажу, що дозволяє легко інтегрувати систему в різні типи приміщень. Розробка також відкриває перспективи для подальшого вдосконалення, наприклад, шляхом інтеграції IoT-технологій для віддаленого моніторингу рівня забруднення повітря або використання мультисенсорних систем для аналізу інших токсичних продуктів горіння, таких як чадний газ чи оксиди азоту, що підвищить її ефективність у складних умовах.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища. Навчальний посібник. - К.: "Знання", КОО, 2000. - 254 с.
2. Кожемяко В. П., Павлов С. В., Тарновський М. Г. Оптоелектронна схемотехніка. Навчальний посібник. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. - 189 с.
3. Осадчук В.С. Температурні та оптичні мікроелектронні частотні перетворювачі. Монографія / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук, В.Г. Вербицький. - Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2001. - 195с .
4. Schifiliti, R.P., Meacham, B.J. and Custer, R.L.P., "Design of Detection Systems", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering , Section 4, Chapter 1, pp. 4.15-4.19, 2002.
5. Barneet, J.R.. and Ierardi, J.A., "A Methodology for Predicting Smoke Detector Response, Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods", 4th International Conference. Proceedings, 235-240, 2002.
6. Mulholland, G.W., "Smoke Production and Properties", SFPE Handbook of Fire Protection Engineering , pp. 2-217 – 2-227, National Fire Protection Association, Quincy, MA.
7. Сергієнко, Л. М. Методи виявлення диму в пожежних системах. — Полтава: ПУЕТ, 2020
8. Кузнецов, І. П. Димові детектори: принципи роботи та застосування. — Львів: ЛНУ, 2021.
9. Сидоренко, П. М. Принципи роботи та конструкція сучасних детекторів диму. — Київ: НТУУ "КПІ", 2021.
10. David B. Lindenmayer. Effective Ecological Monitoring. - CSIRO Publishing, 2010. - 184 с.
11. Robert A. Gitzen. Design and Analysis of Long-term Ecological Monitoring Studies / A. Robert, Joshua J. Millsaugh, Andrew B. Cooper, Daniel S. Licht. - Cambridge University Press, 2012. - 568 с.

12. Моніторинг навколишнього середовища. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://www.ceh.ac.uk/our-science/science-areas/monitoring-observation-systems>
13. Петров, С. М. Системи автоматичного виявлення диму. — Київ: НТУУ "КПІ", 2019.
14. Петров В. "Оптичні технології в системах виявлення пожеж". Науковий журнал "Технічні інновації", 2022.
15. Мельник, І. О. Технології виявлення диму в оптико-електронних системах. — Львів: Наукові записки НТШ, 2021.
16. E. Hughes, Hughes Electrical and Electronic Technology, Essex: Pearson Education Limited, 2008.
17. J. Bird, Electrical & Electronic Principles, Oxford: Newnes, 2010.
18. J. Bird, Electrical Circuit Theory & Technology, Oxford: Newnes, 2003.
19. Коваль, М. С. Екологічні аспекти використання пожежних детекторів. — К.: НТУУ «КПІ», 2023.
20. Коваленко, В. П. Принципи роботи пожежних детекторів. — Київ: Видавничий дім «Освіта», 2019.
21. Захаров, І. О. Протипожежні системи на базі оптико-електронних детекторів. — Чернігів: ЧНТУ, 2020.
22. Долгополова, І. Пожежна безпека у сучасних промислових об'єктах. — Харків: ХПІ, 2021.
23. Громов, В. П. Автоматизація протипожежних систем з використанням оптико-електронних детекторів. — Київ: НАН України, 2021.
24. Андрієнко, О. В. Оптико-електронні сенсори в системах виявлення пожеж. — Харків: Техніка безпеки, 2020.
25. Андрієнко, С. І. Протипожежні системи: оптичні та іонізаційні детектори. — Харків: ХНУРЕ, 2019.
26. Степанов, О. В. Оптико-електронні системи: теорія та практика. — Харків: ХНУРЕ, 2018. [5]

27. Сидоренко, І. Ю. (2022). Сучасні технології в системах виявлення диму: порівняльний аналіз. — Львів: ЛНУ.
28. Кравченко, Ю. О. (2021). Ефективність використання нових матеріалів у системах виявлення диму. *Технічні науки та технології*, 27(2), 102-108.
29. Lee, K., & Kim, S. Integrated Smoke Detection Systems with Temperature and CO Sensors. *International Journal of Fire Protection*, 2022.
30. Василенко, А. П. Сучасні протипожежні системи: технології та перспективи розвитку. Львів: Видавництво Львівського національного університету, 2021.
31. Васильєв, А.М. "Цифрові системи пожежної безпеки". — Одеса: ОНУ, 2020. — 190 с.
32. Іваненко, М.В. "Оптичні детектори диму: принципи роботи і застосування". — Київ: Наукова думка, 2019. — 160 с.
33. Коваль, М. С. (2023). Системи виявлення диму на основі штучного інтелекту. — К.: НТУУ «КПІ».
34. Назаренко, В. Н. Аналіз методів детектування диму та їх застосування. Київ: ВНТУ, 2023.
35. Петров, О.В. "Сучасні системи виявлення пожеж". — Харків: Техніка безпеки, 2018. — 230 с.
36. Хмельницький, О. В. (2021). Мультисенсорні системи виявлення: переваги та недоліки. *Пожежна безпека та технічні науки*, 5(1), 56-67.
37. Сидорова, Т. Ю., & Коваленко, І. В. Інтеграція сенсорних даних у протипожежних системах. Дніпро: Дніпровський державний університет, 2022.

## ДОДАТОК А

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Оптичний датчик вимірювання рівня забруднення повітря продуктами горіння

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

Підрозділ \_\_\_\_\_ кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем \_\_\_\_\_

(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 2,01 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

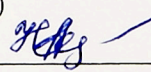
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

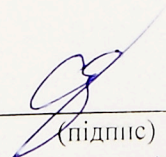
Експертна комісія:

\_\_\_\_\_ Коваль Л.Г., зав. каф. БМІОЕС \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали, посада)

\_\_\_\_\_ Заболотна Н.І., проф. каф БМІОЕС \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали, посада)

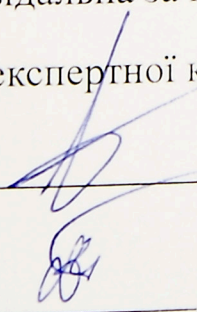
\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_  
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Тужанський С.Є. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Кожем'яко А.В. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Пасічник О.Б. \_\_\_\_\_  
(прізвище, ініціали)

## **ДОДАТОК Б**

### **Ілюстративна частина**

**Оптичний датчик вимірювання рівня забруднення  
повітря продуктами горіння**

Рисунок Б.1 – Структурна схема виявлення продуктів горіння у повітрі

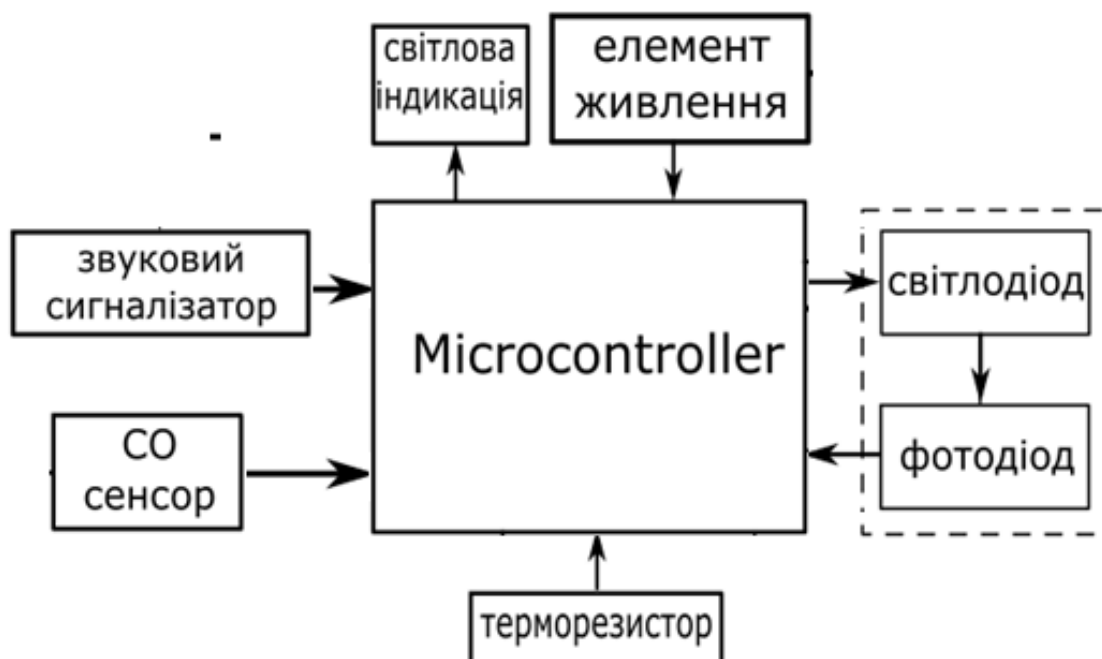




Рисунок Б.2 – Функціональна схема виявлення продуктів горіння у повітрі

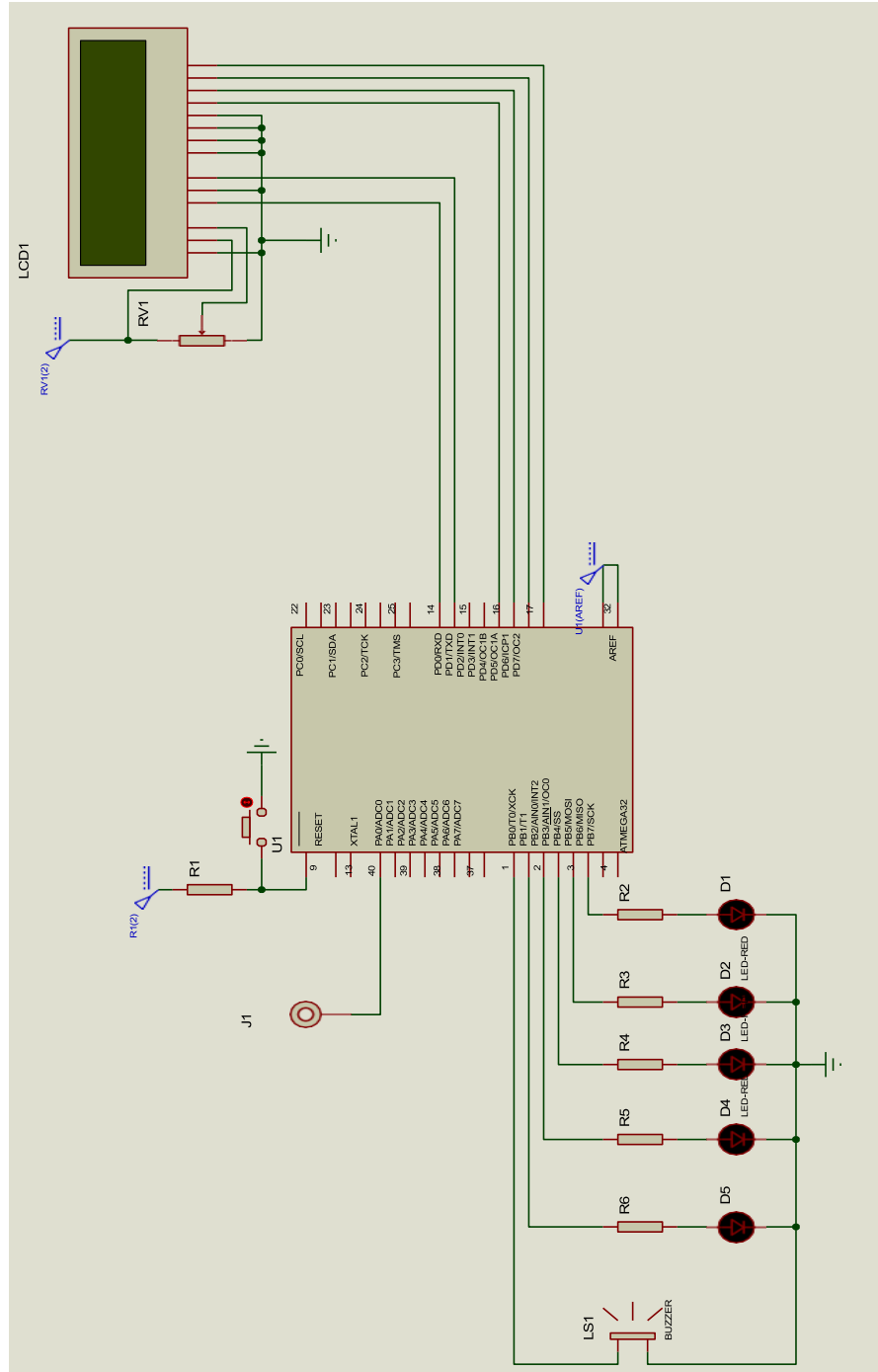


Рисунок Б.3 –Блок–схема розробки проекту

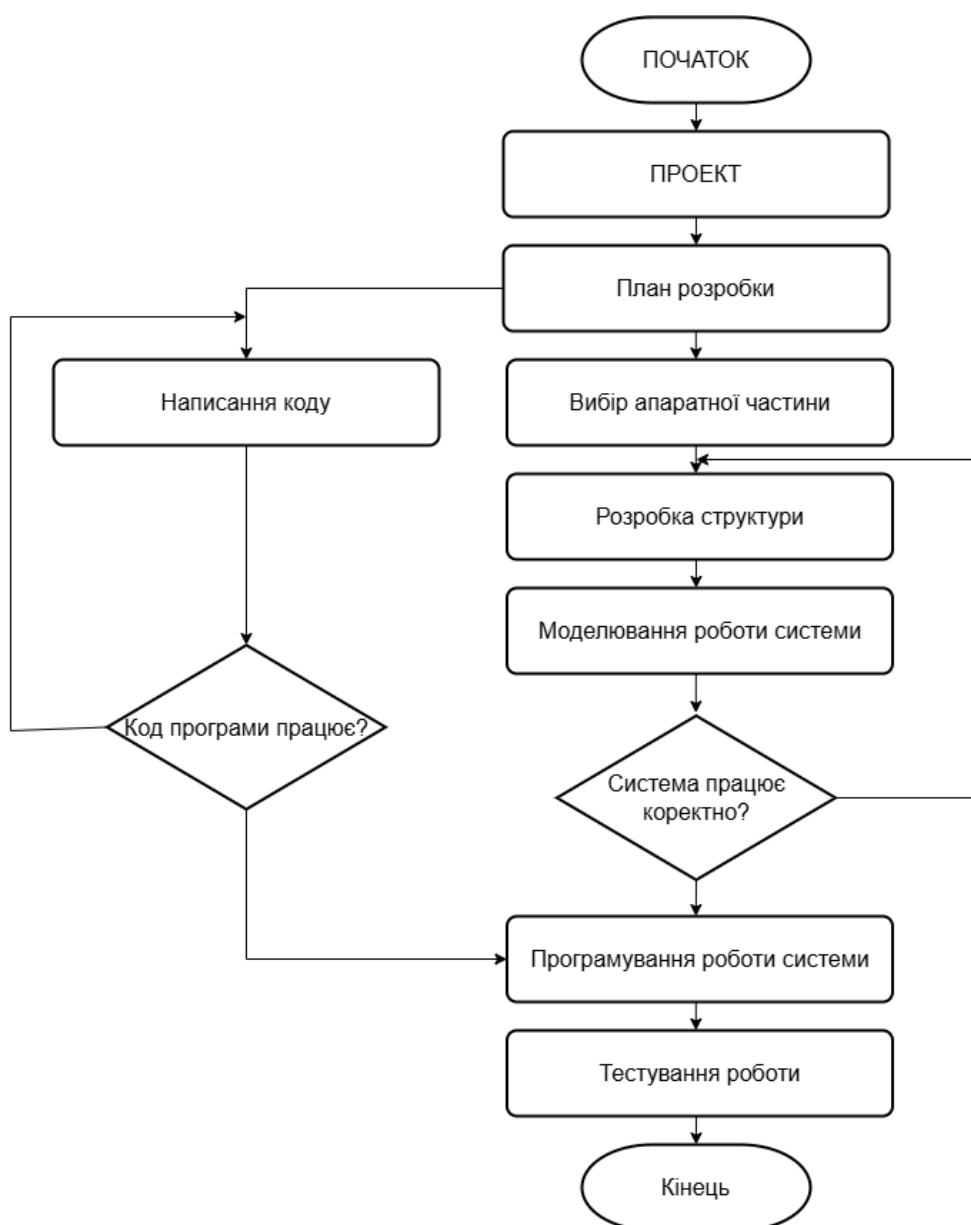


Рисунок Б.3 –Блок–схема виявлення продуктів горіння у повітрі



## ДОДАТОК В

## Лістинг програмного забезпечення

```

#ifndef F_CPU
#define F_CPU 1000000UL // 1 MHz clock speed
#endif

#define D4 eS_PORTD4
#define D5 eS_PORTD5
#define D6 eS_PORTD6
#define D7 eS_PORTD7
#define RS eS_PORTD0
#define EN eS_PORTD1

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include "lcd.h"

uint16_t adc_result0;

void adc_init(){
    // AREF = AVcc ADMUX = (1<<REFS0);
    ADCSRA = (1<<ADEN)|(1<<ADPS1)|(1<<ADPS0);
}

uint16_t adc_read(uint8_t ch)
{
    ch &= 0b00000111;
    ADMUX = (ADMUX & 0xF8)|ch;
    while(ADCSRA & (1<<ADSC));
    return (ADC);
}

int main(void) {
    MCUCSR=(1<<JTD);
    MCUCSR=(1<<JTD);
    _delay_ms(10);

    DDRD = 0xFF;
    DDRA = 0x00;
    DDRC = 0xFF;
    DDRB = 0x3F;
    PORTB &=~(1<<1);

```

```

PORTB &=~(1<<2);

PORTB &=~(1<<3);

PORTB &=~(1<<4);

PORTB &=~(1<<5);

Lcd_Init(); adc_init();

Lcd_Set_Cursor(1,1); Lcd_Write_String(" WELCOME");
_delay_ms(200); Lcd_Clear();


Lcd_Set_Cursor(1,1); Lcd_Write_String("RENSON PROJECT"); Lcd_Set_Cursor(2,1);
Lcd_Write_String("F17/1421/2011");

_delay_ms(200); Lcd_Clear();


while(1){
    adc_result0 = adc_read(0); // read adc value at PA0 char display[20] = "QTY= ";
    char countstr[6];
    sprintf(countstr,6,"%d",adc_result0*10); strcat(display,countstr); strcat(display,"
    ppm");
    if(adc_result0>380){

PORTB = 0x01

PORTB ^= (1<<1);
PORTB ^= (1<<2);
PORTB ^= (1<<3);
PORTB ^= (1<<4);
_delay_ms(1); PORTB= (1<<1);

PORTB ^= (1<<2);
PORTB ^= (1<<3);
PORTB ^= (1<<4);
Lcd_Set_Cursor(1,1);
    Lcd_Write_String("POLUTION DETECTED");
    Lcd_Set_Cursor(2,1);
Lcd_Write_String(display);

    }

else{

PORTB &=~(1<<1);

PORTB &=~(1<<2);

PORTB &=~(1<<3); PORTB &=~(1<<4);

```

```
PORTB = 0x20;
```

```
Lcd_Set_Cursor(1,1);
```

```
Lcd_Write_String("STANDBY MODE");
```

```
Lcd_Set_Cursor(2,1);
```

```
strcat(display, "");
```

```
Lcd_Write_String(display);
```