

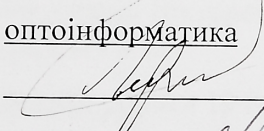
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

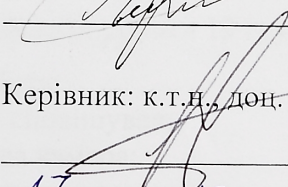
на тему:

«Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі»

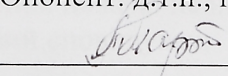
Виконав: Студент 2-го курсу групи ЛТО-23м
Спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні
технології, Освітня програма – Лазерна техніка та
оптоінформатика

 Олексій ФЕДОРИШИН

Керівник: к.т.н., доц. каф. БМІОЕС

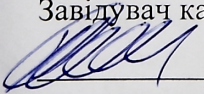
 Андрій КОЖЕМ'ЯКО
«17» 12 2024 р.

Опонент: д.т.н., проф. каф. ОТ

 Тетяна МАРТИНЮК
«17» 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри БМІОЕС

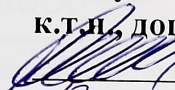
 к.т.н., доц. Леонід КОВАЛЬ
«19» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки
Ступінь вищої освіти Магістр
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 175 Інформаційно-вимірювальні технології
Освітньо-професійна програма – Комп'ютеризовані оптико-інформаційні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри БМІОЕС

к.т.н., доц.

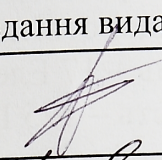
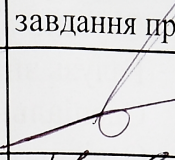
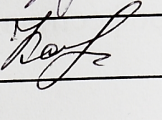
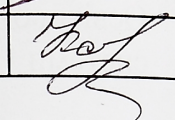
 **Леонід КОВАЛЬ**
«17» 09 2024 року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Федоришину Олексію Олександровичу

1. Тема роботи: «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі»
керівник роботи: Кожем'яко Андрій Вікторович, к. т. н., доц. каф. БМІОЕС ,
затверджені наказом ректора ВНТУ від 2024 року № .
2. Строк подання студентом роботи 19 грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи:
 - комбінований пожежний сповіщувач;
 - оптико-електронна димова камера;
 - адаптивний алгоритм виявлення пожежі;
 - визначення пожежі з верифікацією іншими сенсорами температури та СО;
 - сучасна елементна база;
 - кількість сенсорів виявлення пожежі не менше 2х;
 - енергоефективний димовий сповіщувач;
 - закрита димова камера;
 - живлення від доступних елементів живлення .
4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз оптико-електронних детекторів диму та їх застосування в протипожежних системах. Математична модель алгоритмів мікропроцесорної обробки сигналів в оптико-електронних детекторах диму. Моделювання оптико-електронного детектору диму. Розробка оптико-електронного детектору диму. Висновок. Список використаної літератури.
5. Перелік графічного матеріалу.
Загальна структурна схема. Структурна схема efr32fg23a010f256gm48.
Електричні схеми. Алгоритм роботи оптико-електронного детектора диму

6. Консультанти розділів роботи

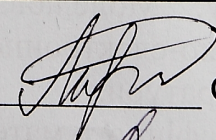
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прий
1-4	Кожем'яко А. В., к.т.н., доц. каф. БМІОЕС		
5	Кавецький В. В., к.т.н., доц. каф. ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання – 1 вересня 2024 року

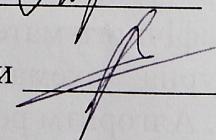
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
1	Аналіз завдання. Вступ	01.09.2024 - 10.09.2024	
2	Аналіз літературних джерел за напрямком магістерської кваліфікаційної роботи	10.09.2024 - 15.09.2024	
3	Науково-технічне обґрунтування	16.09.2024 - 22.09.2024	
4	Аналіз предметної області та формування вимог до детектору диму	23.09.2024 - 29.09.2024	
5	Розробка алгоритмів визначення тривоги	30.09.2024 - 12.10.2024	
6	Підбір елементної бази	14.10.2024 - 02.11.2024	
7	Схемотехнічна реалізація	3.11.2024 - 10.11.2024	
8	Дослідження основних характеристик виробу	11.11.2024 - 17.11.2024	
9	Розробка розділу економічного обґрунтування доцільності розробки	18.11.2024 - 21.11.2024	
10	Аналіз виконання ТЗ, висновки	22.11.2024 - 24.11.2024	
11	Оформлення пояснювальної записки	25.11.2024 - 29.11.2024	
12	Перевірка магістерської роботи на наявність текстових запозичень	30.10.2024 - 02.12.2024	
13	Попередній захист та доопрацювання МКР	29.11.2024 - 14.12.2024	
14	Представлення МКР до захисту, рецензування	15.12.2024 - 17.12.2024	
15	Захист МКР	19.12.2024 - 20.12.2024	

Студент

 Олексій ФЕДОРИШ

Керівник роботи

 Андрій КОЖЕМ'Я

АНОТАЦІЯ

Федоришин О. Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології, освітня програма – Лазерна техніка та оптоінформатика . Вінниця: ВНТУ, 2024. 120 с.

Укр. мовою. Бібліогр.: 48 назв; рис.: 48;

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена вдосконаленню системи пожежної сигналізації на основі оптико-електронного детектора диму. Підготовлено науково-дослідне та техніко-економічне обґрунтування доцільності досліджень. У роботі здійснено аналіз існуючих систем пожежних сповіщувачів і обґрунтовано вибір камерного детектора для реалізації. Розроблено структурну схему та електричну схему оптико-електронного детектора диму з мікропроцесорним управлінням. Розроблено алгоритм фільтрації даних та комбінації даних з різних сенсорів. Апаратно реалізовано та здійснено випробування системи.

Ілюстративна частина складається з 48 плакатів з демонстрацією результатів моделювання і проведених досліджень.

В економічному розділі оцінено витрати на розробку.

Ключові слова: система пожежної сигналізації, пожежний сповіщувач, димова камера, мікроконтролери, оптико-електронний сповіщувач диму, мікропроцесор, алгоритм фільтрації, сенсор чадного газу, датчик температури.

ABSTRACT

Fedoryshyn O. Opto-electronic smoke detector with microprocessor processing in a multi-channel fire protection system. Master's qualification work in the specialty 175 – Information and measurement technologies, educational program – Laser technology and optoinformatics. Vinnytsia: VNTU, 2024. 120 p.

In Ukrainian. Bibliography: 48 titles; Fig.: 44;

Master's qualification work is devoted to the improvement of the fire alarm system based on the opto-electronic smoke detector. A scientific research and feasibility study of the research has been prepared. The work analyzes existing fire detector systems and justifies the choice of a chamber detector for implementation. A structural diagram and electrical diagram of an opto-electronic smoke detector with microprocessor control have been developed. An algorithm for filtering data and combining data from various sensors has been developed. The system has been implemented and tested in hardware.

The illustrative part consists of 48 posters demonstrating the results of modeling and research.

The economic section estimates the development costs.

Keywords: fire alarm system, fire detector, smoke chamber, microcontrollers, optoelectronic smoke detector, microprocessor, filtering algorithm, carbon monoxide sensor, temperature sensor.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ДЕТЕКТОРІВ ДИМУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ПРОТИПОЖЕЖНИХ СИСТЕМАХ.....	11
1.1 Принцип роботи оптико-електронних детекторів диму.....	11
1.1.1 Метод розсіювання світла.....	12
1.1.2 Метод поглинання світла	15
1.2 Технічні характеристики та переваги використання оптико-електронних детекторів.....	16
1.3 Використання оптико-електронних детекторів у складних умовах експлуатації	19
1.4 Перспективи розвитку оптико-електронних детекторів диму	21
2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АЛГОРИТМІВ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОНИХ ДЕТЕКТОРАХ ДИМУ..	24
2.1 Принципи мікропроцесорної обробки сигналів у протипожежних системах	24
2.2 Порівняльний алгоритм розпізнавання диму.....	26
2.3 Алгоритм розпізнавання диму з застосуванням фільтрації	28
2.4 Алгоритм виявлення пожежі з автокалібруванням	31
2.5 Алгоритми інтеграції даних з різних джерел.....	35
3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ДЕТЕКТОРУ ДИМУ	40
3.1 Вибір оптимального методу детектування пожежі.....	40
3.2 Моделювання димової камери	44
3.3 Моделювання задимлення	50
3.4 Визначення основних властивостей та характеристик використаної димової камери.....	63
4 РОЗРОБКА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ДЕТЕКТОРУ ДИМУ.....	65
4.1 Формування технічних вимог до пристрою.....	65
4.2 Вибір компонентів оптоелектронного детектора диму	67

4.3 Розробка структурної схеми детектора диму.....	75
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	85
5.1 Оцінювання наукового ефекту	85
5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи	88
5.2.1 Витрати на оплату праці.....	88
5.2.2 Відрахування на соціальні заходи.....	91
5.2.3 Сировина та матеріали	91
5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі	92
5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт.....	93
5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	94
5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень.....	95
5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	96
5.2.9 Службові відрядження.....	96
5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації	97
5.2.11 Інші витрати	97
5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи.....	98
5.4 Висновки	100
ВИСНОВКИ.....	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	103
ДОДАТОК А Технічне завдання	120
ДОДАТОК Б Структурна схема	108
ДОДАТОК Б Структурна схема мікроконтролера	114
ДОДАТОК В Функціональна схема мікроконтролера.....	115
ДОДАТОК Г Функціональна схема периферійних пристроїв.....	116
ДОДАТОК І Функціональна схема TPS8802DCPR.....	117
ДОДАТОК Д Алгоритм роботи.....	118
ДОДАТОК Е Протокол перевірки.....	119
ДОДАТОК Ж Акт впровадження.....	116

ВСТУП

Пожежі є однією з найбільших загроз для людського життя, здоров'я та матеріальних цінностей. Згідно з даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій, щорічно в Україні реєструється тисячі пожеж, що призводять до численних жертв і значних матеріальних втрат [1]. В умовах урбанізації та збільшення населення, а також розвитку промисловості, проблема пожежної безпеки стає ще більш актуальною. Своєчасне виявлення та реагування на початкові ознаки пожежі, такі як дим, є критично важливим для запобігання масштабним катастрофам.

У сучасних умовах розвитку технологій, традиційні методи виявлення диму втрачають свою ефективність. Саме тому на перший план виходять новітні технології, такі як оптико-електронні детектори диму. Ці пристрої здатні швидко та точно виявляти дим, використовуючи оптичні методи, що забезпечує високу чутливість та надійність. У порівнянні з класичними іонізаційними детекторами, оптико-електронні аналізують світлові потоки та можуть виявляти навіть незначні зміни в атмосфері, що робить їх надзвичайно ефективними у боротьбі з пожежами.

Дослідження показують, що оптико-електронні детектори диму забезпечують швидшу реакцію на виникнення диму в порівнянні з традиційними методами, що може зменшити ризики для життя людей та знизити матеріальні збитки від пожеж. Важливим аспектом їх застосування є здатність працювати в різних умовах, включаючи приміщення з високою вологістю або забруднене повітря. Сучасні моделі оптико-електронних детекторів розроблені так, щоб бути стійкими до зовнішніх факторів, що може значно підвищити їх надійність.

У цьому контексті важливо підкреслити, що в Україні ще недостатньо впроваджуються новітні технології в системи протипожежної безпеки. Багато об'єктів все ще використовують застарілі методи, що не відповідають сучасним вимогам. Тому мета даної роботи також полягає у пошуку шляхів оптимізації і

модернізації системи виявлення диму через інтеграцію мікропроцесорних технологій у оптико-електронні детектори.

Крім того, важливим аспектом є розвиток навчальних програм для спеціалістів у сфері пожежної безпеки, що дозволить їм ефективно використовувати новітні технології. Це забезпечить не тільки підвищення безпеки, але й зменшить витрати на ліквідацію наслідків пожеж. Оскільки ринок технологій для виявлення диму постійно еволюціонує, важливо залишатися в курсі останніх розробок і досягнень, що можуть зменшити ризики і забезпечити надійний захист.

Дослідження оптико-електронних детекторів диму з мікропроцесорною обробкою виявляється надзвичайно актуальним, адже воно може істотно вплинути на підвищення рівня пожежної безпеки в Україні та в інших країнах, де ще використовуються традиційні методи виявлення диму.

Актуальність теми полягає в необхідності створення нових протипожежних систем які будуть використовувати сучасні технології, нові більш складні алгоритми обробки і виявлення пожеж для забезпечення високого рівня пожежної безпеки з мінімізацією хибних спрацювань.

Об'єкт дослідження – процес формування сигналу тривоги димового сповіщувача та його реакція на різні алгоритми фільтрації та інтеграції додаткових даних.

Предмет дослідження – методи та засоби формування та обробки сигналу з оптико-електронного димового сповіщувача.

Мета роботи полягає у розширенні функціональних можливостей оптико-електронного детектора диму шляхом оптимізації методів обробки сигналів та інтеграції даних з різних сенсорів у протипожежній системі, що дозволить виявляти пожежу від різних джерел, а також зменшення випадків помилкових спрацювань.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі **задачі**:

- проаналізувати існуючі типи оптико-електронних детекторів диму та методи їх використання в протипожежних системах;

- удосконалити методи детектування диму за допомогою адаптивних алгоритмів і фільтрації сигналів;
- розробити структурну та функціональну схеми оптоелектронного датчика;
- виконати моделювання роботи системи для оцінки її ефективності;
- підібрати сучасні апаратні компоненти для реалізації системи та забезпечення її надійності.

Наукова новизна — удосконалено метод детектування диму в оптико-електронному датчику шляхом впровадження адаптивного порогового алгоритму та комбінованої обробки сигналів з використанням температурних і газових сенсорів, це дозволяє зменшити випадки помилкових спрацювань

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі запропонованих методів та теоретичних положень розроблено протипожежний оптико-електронний детектор диму, впроваджено алгоритми автокалібрування порогових значень та додаткова інтеграція і обробка даних з інших сенсорів, розроблена схема димового сповіщувача на сучасній елементній базі.

Апробація результатів. Основні положення та результати виконані в магістерській роботі досліджень доповідались та обговорювались на конференції:

- Міжнародної науково-практична Інтернет-конференція, Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ та управління. Збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції 20-21 листопада 2024 р. – Суми/Вінниця: НІКО / КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», 2024. – 218 с. [2]

Окремі результати магістерської кваліфікаційної роботи було впроваджено у діяльність ТОВ «Тірас-12», що підтверджується виданим Актом впровадження [Додаток Б].

1 АНАЛІЗ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННИХ ДЕТЕКТОРІВ ДИМУ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В ПРОТИПОЖЕЖНИХ СИСТЕМАХ

Оптико-електронні детектори диму є важливим елементом сучасних протипожежних систем, завдяки їх високій чутливості та здатності швидко виявляти ознаки задимлення на ранніх стадіях. У цьому розділі буде проведено аналіз принципів роботи таких детекторів, їх технічних характеристик, переваг та недоліків у порівнянні з іншими типами датчиків. Особлива увага приділяється їх застосуванню в умовах різного середовища.

1.1 Принцип роботи оптико-електронних детекторів диму

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 [3].

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 [4].

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.

1.1.1 Метод розсіювання світла

Метод розсіювання світла є одним із найефективніших способів виявлення диму в сучасних оптико-електронних детекторах. Основним елементом цього методу є джерело світла, яке випромінює інфрачервоне світло або лазерний промінь у певну область простору. При відсутності диму випромінювання проходить без перешкод, і фотодетектор фіксує постійний рівень світлового потоку. Однак, коли дим потрапляє в контрольовану зону, частинки диму змінюють напрямок променя, викликаючи його розсіювання. Частина цього розсіяного світла потрапляє на фотодетектор, який реагує на зміну інтенсивності й активує сигнал про наявність диму [5].

Інтенсивність розсіяного світла можна описати за допомогою формули:

$$I_r = I_0 \cdot e^{-\alpha x}, \quad (1.1)$$

де: I_r — інтенсивність розсіяного світла, I_0 — початкова інтенсивність світла, α — коефіцієнт поглинання (залежить від концентрації частинок диму), x — відстань, на якій відбувається розсіювання.

Це один з найбільш чутливих методів, який дозволяє виявляти навіть незначні концентрації диму. Для прикладу на рисунку 1.1 наведені зображення принципу роботи камерного димового датчика, а саме димової камери з випромінювачем та фотодетектором, де на рисунку а) чиста камера і світловий потік розсіюється з постійною інтенсивністю, а на рисунку б) відбувається заломлення, відбиття і нерівномірність інтенсивності розсіювання в часі що фіксує фотодетектор.

Серед сучасних детекторів, що використовують метод розсіювання, особливе місце займають безкамерні детектори. Ці датчики використовують оптичні сенсори, але на відміну від класичних систем, вони не містять камери для виявлення диму. Замість цього, використовується інфрачервоний або лазерний промінь, який проходить через повітря, і спеціальні фотоприймачі відстежують його інтенсивність. Коли в повітрі з'являються частинки диму,

вони розсіюють світло, змінюючи його інтенсивність, що фіксується сенсором.[6]

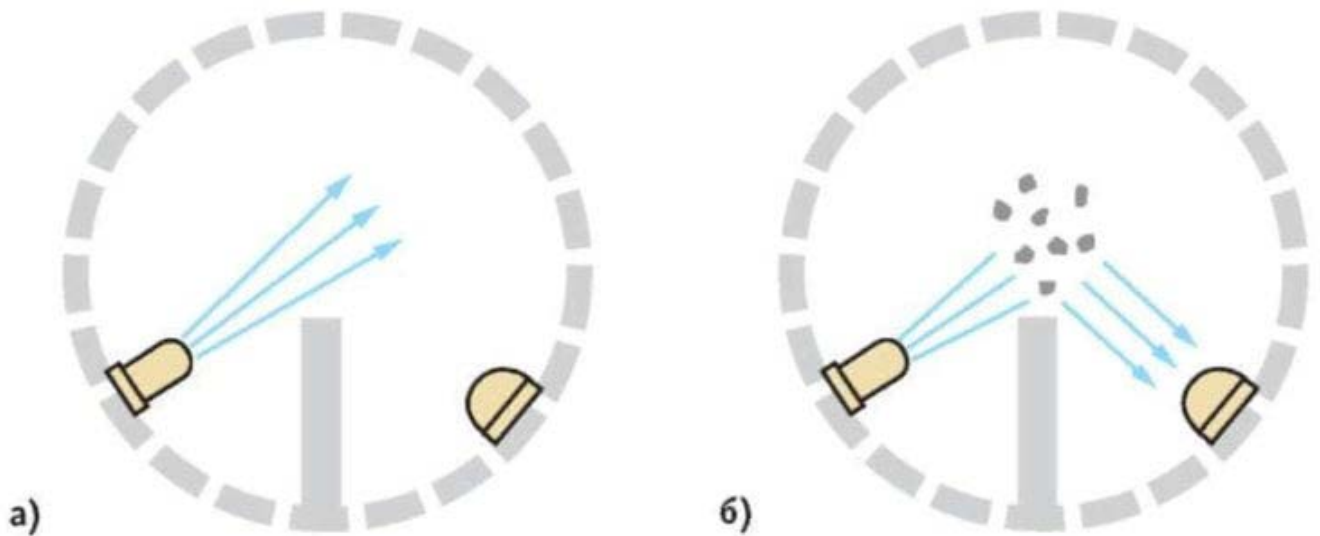


Рисунок 1.1 Димов камера з джерелом випромінення і фотодетектором

а) чиста камера, б) задимлена камера

Коли частинки диму потрапляють у зону дії променя, ми можемо описати відношення інтенсивності світла, яке досягає фотодетектора, за формулою:

$$I_{det} = I_0 \cdot e^{-(\alpha+\beta)x}, \quad (1.2)$$

де: I_{det} — інтенсивність світла, яке досягає фотодетектора, β — коефіцієнт розсіювання, що характеризує здатність частинок диму розсіювати світло.

Однією з ключових переваг цієї технології є її здатність працювати навіть при слабкому задимленні, що робить її ідеальною для використання в умовах, де традиційні методи можуть виявитися неефективними. Крім того, безкамерні оптичні датчики демонструють високу стійкість до впливу пилу або інших забруднюючих речовин у повітрі, що часто стає причиною хибних спрацьовувань у камерних детекторах [7]. Це дозволяє значно знизити ймовірність хибних спрацьовувань і підвищити загальну надійність системи виявлення диму.

Безкамерні оптичні датчики представляють собою технологію майбутнього, що дозволяє досягти більшої точності та надійності виявлення

диму, забезпечуючи при цьому простоту та економічність експлуатації. На рисунку 1.2 показана мікросхема сенсора безкамерного детектора ADPD188BI фірми Analog Devices, яка демонструє можливості сучасних технологій у сфері виявлення диму. [8]

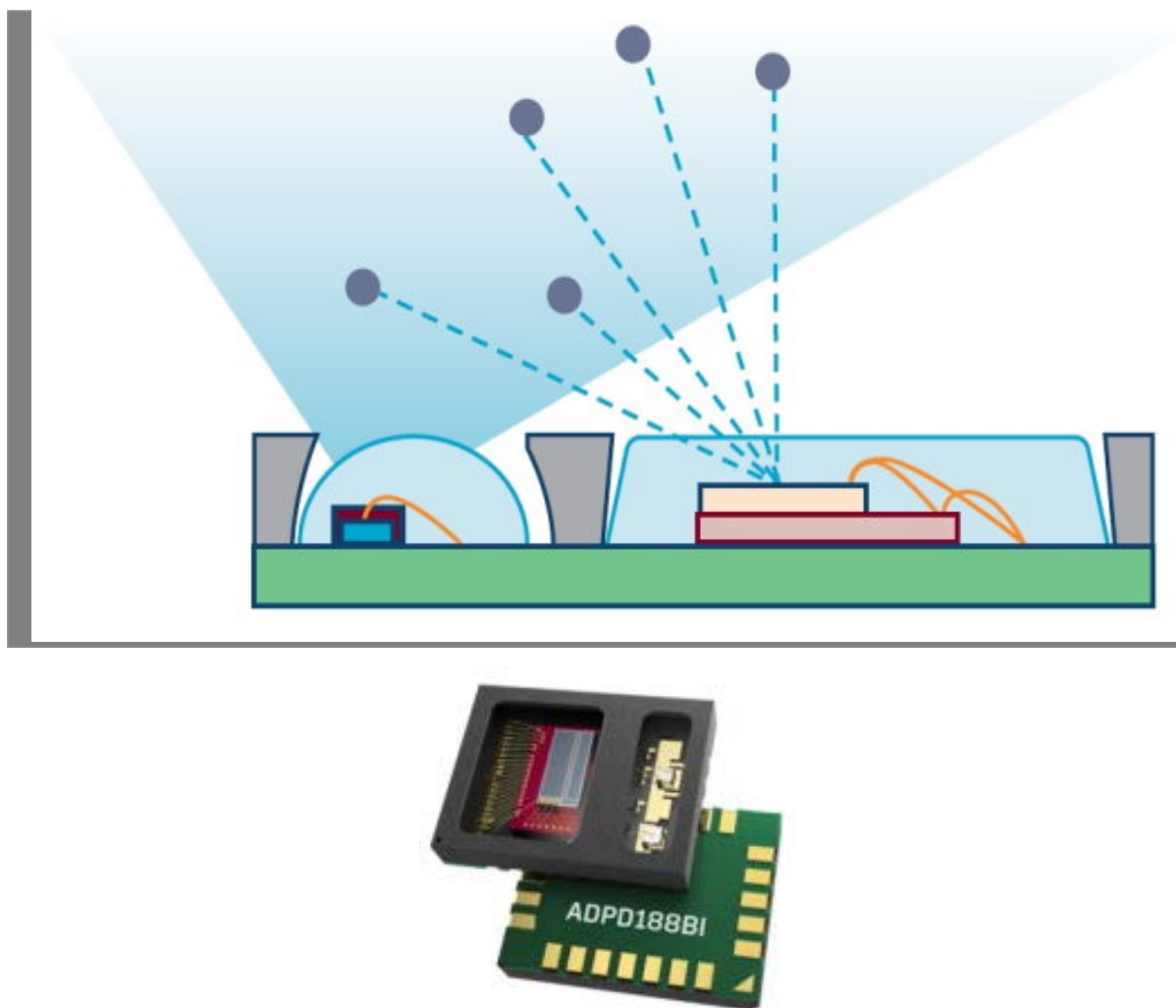


Рисунок 1.2 – Сенсор для безкамерного детектору диму

Таким чином, метод розсіювання світла, зокрема в безкамерних детекторах, продовжує залишатися одним з найбільш перспективних і ефективних підходів до виявлення диму в сучасних системах пожежної безпеки. З подальшим розвитком технологій можна очікувати ще більшої інтеграції новітніх рішень у цю область, що призведе до підвищення ефективності та надійності таких систем.

1.1.2 Метод поглинання світла

Метод поглинання світла є одним із найбільш розповсюджених підходів до виявлення диму в оптико-електронних детекторах. Цей метод базується на принципі блокування світлового променя, що дозволяє здійснювати моніторинг змін у світловому потоці, проходячи через контрольовану область. Джерело світла, зазвичай лазер або світлодіод, випромінює промінь, який проходить через зону можливого виникнення диму. При нормальних умовах весь світловий промінь досягає приймача, забезпечуючи стабільний рівень сигналу.

Коли в контрольованій зоні з'являються частинки диму, вони блокують частину світлового потоку. Це призводить до зменшення кількості світла, що потрапляє на приймач, і, відповідно, до зниження рівня сигналу. Як тільки цей рівень падає нижче певного порога, детектор активує тривогу, сигналізуючи про наявність диму в приміщенні [9].

Метод поглинання світла має низку переваг. По-перше, він може бути адаптований для виявлення диму на великих площах, що робить його ідеальним для використання в великих приміщеннях, таких як склади, торгові центри та виробничі цехи. По-друге, цей метод забезпечує високу чутливість, оскільки навіть незначні зміни в концентрації диму можуть призвести до істотних змін у світловому потоці.

Крім того, застосування методу поглинання світла дозволяє зменшити ймовірність хибних спрацьовувань детектора, оскільки система може бути налаштована на виявлення специфічних частот або діапазонів хвиль, характерних для диму. Це означає, що детектор буде менш чутливим до інших факторів, які можуть впливати на рівень світла, таких як пил або волога.

На рисунку 1.3 показаний принцип роботи лінійних димових сповіщувачів, які ілюструють цю технологію. Як видно з малюнка, джерело світла, приймач і контрольована зона взаємодіють для виявлення наявності диму.

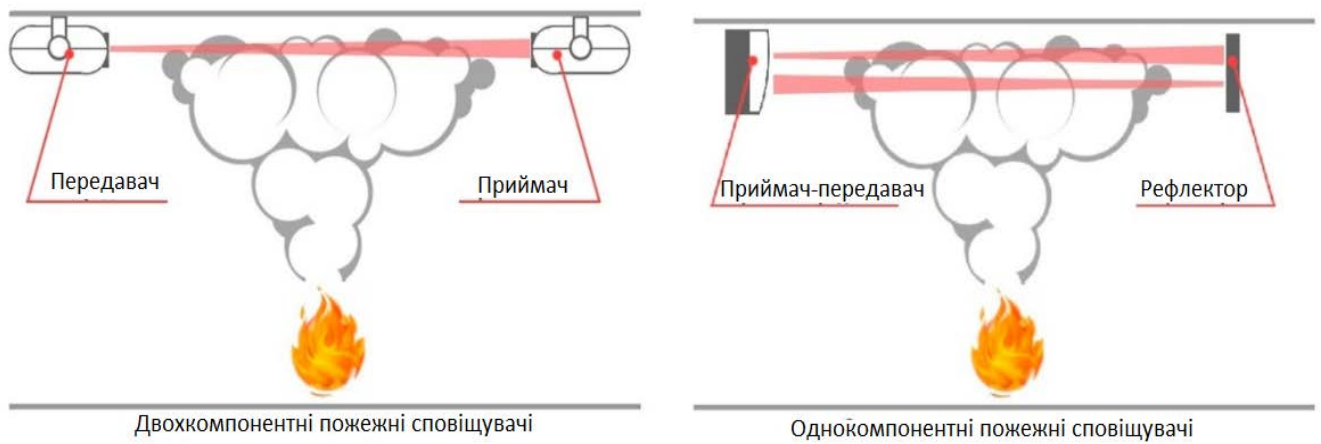


Рисунок 1.3 – Лінійні димові сповіщувачі

Метод поглинання світла є важливим компонентом сучасних систем протипожежної безпеки. Оскільки технології продовжують розвиватися, існує потенціал для поліпшення характеристик детекторів диму, таких як швидкість реакції, точність та стійкість до зовнішніх факторів. В майбутньому можна очікувати інтеграцію новітніх технологій, таких як машинне навчання та штучний інтелект, що можуть ще більше підвищити ефективність методу поглинання світла в системах виявлення диму[10].

1.2 Технічні характеристики та переваги використання оптико-електронних детекторів

Оптико-електронні детектори диму характеризуються низкою технічних параметрів, які визначають їх ефективність та придатність для різних умов експлуатації. Основні технічні характеристики включають:

Чутливість до диму: Це один із ключових параметрів, що визначає здатність детектора реагувати на найменші концентрації диму в повітрі. Висока чутливість оптико-електронних детекторів забезпечується за рахунок використання інфрачервоного або лазерного випромінювання, що дозволяє фіксувати навіть незначне розсіювання світла, [11] що дає можливість виявити навіть незначні концентрації диму в повітрі, що робить їх ідеальними для раннього попередження про загрозу пожежі на відміну від теплових. Це

особливо важливо у приміщеннях, де пожежа може швидко поширюватись, таких як склади або офісні будівлі [12].

Радіус дії: Оптико-електронні детектори здатні охоплювати досить великі площі приміщень. Дальність дії зазвичай варіюється від 7 до 150 метрів, залежно від типу детектора та його потужності. На рисунку 1.4 показані узагальнені відстанні покриття лінійного детектора, так як різний виробник дає індивідуальні технічні характеристики на свою продукцію. Деякі моделі використовують системи з відбиттям або перериванням променя, що дозволяє використовувати їх у великих приміщеннях, таких як склади чи заводи. [13] Використання меншої кількості детекторів без втрати ефективності виявлення пожежі в значній мірі має економічну вигоду для забезпечення протипожежної безпеки на великих підприємствах, не лише за рахунок зменшення компонентів системи, а і на регулярному її обслуговуванні.



Рисунок 1.4 – Захищена площа лінійного детектора

Споживана потужність: Оптико-електронні детектори є досить економічними пристроями. Типові моделі мають споживану потужність від 0,1 до 5 Вт. Це дозволяє знижувати витрати на енергію, особливо при встановленні у великих будівлях, де одночасно може працювати декілька десятків або сотні таких детекторів [14]. А з використанням сучасних мікросхем це споживання можна скоротити навіть до 0.1мВт/год що дозволяє працювати автономним димовим детекторам до 10ти років на одному елементі живлення згідно стандарту EN 14604.

Час реакції: Час від моменту появи диму до спрацювання сигналізації є важливим параметром. У оптико-електронних детекторах цей показник зазвичай складає від кількох секунд до декількох хвилини. Сучасні мікропроцесорні технології дозволяють оптимізувати цей показник, знижуючи час до мінімуму [15]. Для точного виявлення пожежі не достатньо просто виявити задимлення, а потрібно ще деякий час проаналізувати даний сигнал щоб виключити хибні спрацювання, але чим швидше ми побачим перші частинки диму тим скоріше можна буде сформулювати вже верифіковану тривогу. В цьому на першому місці безкамерні детектори, так як виявляють задимлення миттєво після того як воно дійде до контрольованої зони сенсора, на відміну від камерних де ще потрібний час для проходження частинок в димову камеру детектора[16].

Низький рівень хибних спрацювань: Однією з проблем багатьох систем виявлення диму є хибні тривоги, які можуть бути викликані парою, пилом або іншими факторами. Оптико-електронні детектори завдяки своїй точності і чутливості мають значно нижчий рівень хибних спрацювань порівняно з іонізаційними детекторами. Також покращити стійкість до хибних тривоги можна перевіркою димової камери двома різними спектрами засвітки, так як різні типи частинок по різному реагують на інші спектри. Деревина тліє або горить з виділенням часточок з розмірами 0.1-0.45мкм, а водяний пар чи аерозолі мають розміри 1-2мкм і з цього виходить що для однієї і тієї самої речовини в різних спектрах коефіцієнт відбиття може відрізнятись в десятки разів [17].

Екологічна безпечність: Оптико-електронні детектори є більш екологічними порівняно з іонізаційними, оскільки не використовують радіоактивних матеріалів для виявлення диму. Це робить їх безпечнішими для довкілля і легшими у використанні та утилізації [18].

Оптико-електронні детектори диму, завдяки своїм технічним характеристикам, є надзвичайно ефективним засобом для раннього виявлення пожеж. Їх висока чутливість, надійність і стійкість до зовнішніх факторів

роблять їх одним з найкращих рішень для забезпечення пожежної безпеки як у житлових, так і в промислових приміщеннях.

1.3 Використання оптико-електронних детекторів у складних умовах експлуатації

Оптико-електронні детектори диму є критично важливими компонентами систем пожежної безпеки, але їх ефективність може бути значно знижена в умовах, які відрізняються від стандартних. Складні умови експлуатації можуть включати високі температури, підвищену вологість, забруднене середовище, а також наявність великих обсягів диму. Всі ці фактори можуть суттєво вплинути на точність і надійність роботи детекторів. Розглянемо кілька ключових аспектів використання оптико-електронних детекторів у таких умовах.[19]

Високі температури та вологість: Одним із найбільших викликів для оптико-електронних детекторів диму є зміни температури та вологості. Стандартні детектори можуть почати працювати ненадійно при температурах вище 50°C. Це особливо актуально для промислових об'єктів, де такі умови можуть бути звичайними. Високі температури можуть призводити до деформації димової камери або пошкодження електронних компонентів, що знижує чутливість детектора або може призводити до хибних спрацьовувань. [20]

У середовищах з високою вологістю, таких як тунелі або підземні приміщення, конденсація водяної пари може також впливати на оптичні компоненти детектора. Для забезпечення надійності роботи в таких умовах використовують спеціальні захисні покриття оптичних компонентів і системи з підігрівом для запобігання утворенню конденсату [5].

Для вирішення цих проблем розроблені спеціалізовані детектори, які можуть працювати в умовах підвищених температур і вологості. Наприклад, використання термостійких матеріалів у конструкції детектора дозволяє запобігти пошкодженню або деформації елементів корпусних деталей. На рисунку 1.5 показано термостійкий детектор з металевим корпусом. Для

боротьби з утворенням конденсату в умовах високої вологості використовують системи з підігрівом оптичних компонентів, що запобігають осіданню вологи і зберігають їх чистоту. Також, сучасні детектори обладнуються алгоритмами обробки сигналів, які враховують зміни температури і вологості, зменшуючи їх вплив на точність роботи. Це дозволяє зберігати функціональність детекторів навіть у екстремальних умовах [21].



Рисунок 1.5 - Спеціалізований димовий детектор

Забруднене середовище: В умовах забрудненого середовища, таких як промислові зони, накопичення пилу, диму та інших забруднювачів може суттєво знижувати ефективність оптико-електронних детекторів. Забруднення оптичних елементів детектора може призводити до спотворення сигналу та зниження чутливості. Це викликає потребу в частому обслуговуванні детекторів, що може бути непрактично в умовах інтенсивної експлуатації.

Сучасні виробники прагнуть вирішити цю проблему шляхом розробки детекторів, які мають можливість самостійного очищення оптичних елементів або використовують спеціалізовані фільтри для запобігання накопиченню забруднень. Наприклад, деякі моделі обладнані автоматичними системами, які

здійснюють моніторинг стану оптичних елементів та інформують користувачів про необхідність обслуговування [15]. Такі рішення знижують ймовірність відмови детектора і забезпечують його надійну роботу в складних умовах. Ще один з видів запобігання некоректної роботи в запилених приміщеннях це періодична автоматична перекалібровка рівня фонового відбиття в димовій камері, що суттєво продовжує інтервали між її чисткою і не спричиняє хибних тривог, а при досягненні критичного рівня посиляє сервісне повідомлення про необхідність очистки камери. Для лінійних детекторів є системи самоочищення лінз або використовують спеціальні покриття на лінзах, що запобігають осіданню часток

Підсумувати можна тим що використання оптико-електронних детекторів у складних умовах експлуатації вимагає особливої уваги до їх проектування та впровадження. Інноваційні технології, спеціалізовані матеріали та адаптивні алгоритми обробки сигналів допомагають підвищити ефективність детекторів у складних умовах, забезпечуючи високий рівень пожежної безпеки. Успішне вирішення цих завдань є ключовим для розвитку надійних систем пожежної безпеки в сучасних промислових та житлових умовах.

1.4 Перспективи розвитку оптико-електронних детекторів диму

Перспективи розвитку оптико-електронних детекторів диму зумовлені змінами в технологіях, зростаючими вимогами до пожежної безпеки та впровадженням інноваційних рішень. Сучасні детектори постійно вдосконалюються, враховуючи нові виклики, що виникають у сфері пожежної безпеки.

Однією з основних тенденцій є інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та мікропроцесорів в системи виявлення диму. Це дозволяє підвищити точність виявлення за рахунок аналізу великих обсягів даних і виявлення аномалій, що свідчать про можливу появу диму. Алгоритми машинного навчання здатні

адаптуватися до нових умов експлуатації, знижуючи ймовірність хибних спрацювань постійно аналізуючи навколишні умови експлуатації [22].

Також спостерігається розвиток мультисенсорних систем, які комбінують різні типи детекторів (оптичні, газові, температурні). Це забезпечує комплексний підхід до виявлення загроз і зменшує кількість помилок, пов'язаних із зовнішніми факторами. Мультисенсорні системи підвищують чутливість до різних типів диму, що є критично важливим у середовищах з високим ризиком [23]. Адже під час розвитку пожежі змінюється багато інших параметрів середовища, такі як поява чадного газу, або підвищення температури і аналіз цих параметрів може дозволити не лише верифікувати тривогу, а і виявити пожежу на самих ранніх її стадіях.

Впровадження технологій Інтернету речей (IoT) відкриває нові можливості для систем виявлення диму. Завдяки IoT користувачі можуть здійснювати віддалений моніторинг стану детекторів у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на загрози. Збір даних з численних детекторів також сприяє глибокому статистичному аналізу та прогнозуванню ризиків, що підвищує ефективність систем виявлення [24].

Ще однією важливою тенденцією є підвищення енергоефективності та компактності детекторів. Розробка менших і легших моделей дозволяє зекономити простір і підвищити гнучкість в установці. Використання нових енергоефективних технологій, таких як бездротові рішення, робить системи більш автономними та знижує їхнє споживання енергії[25].

Важливу роль у розвитку детекторів відіграє також покращення матеріалів, з яких вони виготовляються. Новітні матеріали, такі як наноматеріали, здатні забезпечити високу чутливість і стійкість до зовнішніх впливів, що може суттєво продовжити термін служби детекторів та зменшити потребу в частій заміні[26].

Нарешті, соціальні та законодавчі аспекти також впливають на розвиток оптико-електронних детекторів. Підвищення вимог до стандартів безпеки стимулює розробку нових технологій, які забезпечують кращий рівень захисту.

Зростаюча обізнаність населення про важливість пожежної безпеки спонукає до впровадження нових рішень у цій сфері.

Проведено аналіз основних типів оптико-електронних детекторів диму, розглянуто їхні принципи роботи, технічні характеристики та переваги використання в системах пожежної безпеки. Проаналізовано класифікацію камерних та безкамерних детекторів, а також їхнє застосування у складних умовах експлуатації. Визначено перспективи розвитку оптико-електронних детекторів із покращеними алгоритмами обробки сигналів та використанням новітніх технологій для підвищення надійності та ефективності їх роботи.

2 МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АЛГОРИТМІВ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В ОПТИКО-ЕЛЕКТРОНИХ ДЕТЕКТОРАХ ДИМУ

У сучасних оптико-електронних детекторах диму мікропроцесорна обробка сигналів відіграє ключову роль у підвищенні точності та швидкості реагування систем на загрозу пожежі. Використання мікропроцесорів дозволяє не тільки аналізувати вхідні сигнали від оптичних сенсорів у реальному часі, але й адаптувати систему до змінних умов навколишнього середовища, мінімізуючи кількість хибних тривог. Крім того, мікропроцесорні технології забезпечують можливість інтеграції декількох сенсорів, дозволяючи створювати більш складні та надійні системи для моніторингу і контролю задимлення.

2.1 Принципи мікропроцесорної обробки сигналів у протипожежних системах

Мікропроцесорна 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 відрізнити 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.

2.2 Порівняльний алгоритм розпізнавання диму

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.

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].

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

$$\Delta S(t) = S(t) - S_0, \quad (2.1)$$

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 τ . 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 2.1 – блок-схема алгоритму порівняння сигналів

На рисунку 2.2 показана графічна візуалізація алгоритму виявлення диму:

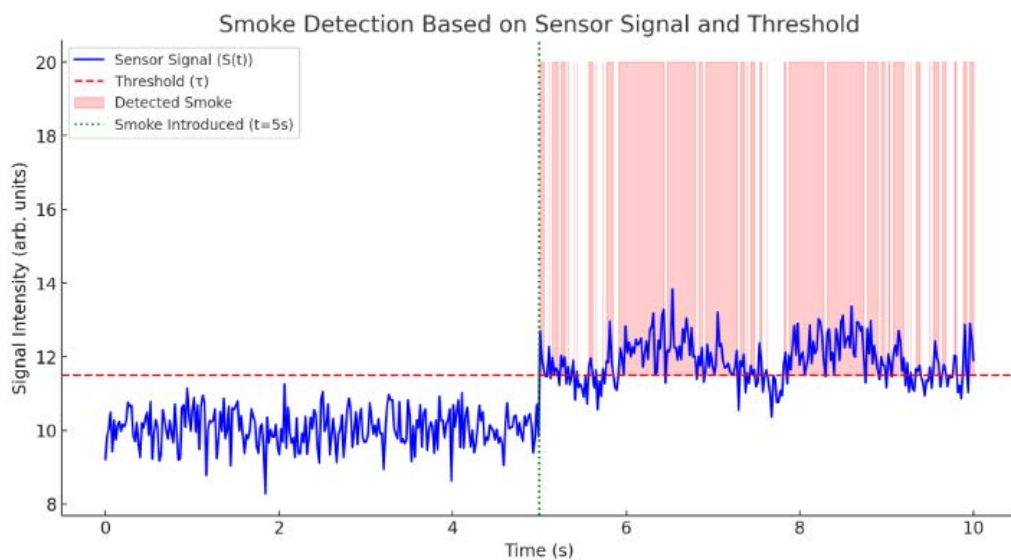


Рисунок 2.2 – графічна візуалізація алгоритму виявлення диму

Де: Синя лінія це сигнал із датчика $S(t)$, який містить базовий рівень, шум та сигнал диму; Червона пунктирна лінія – порогове значення τ , коли сигнал перевищує це значення, система реєструє дим; Червона заштрихована область – інтервали часу, коли сигнал перевищує поріг, вказуючи на виявлення диму; Зелена вертикальна лінія – момент появи диму ($t = 5$ сек).

2.3 Алгоритм розпізнавання диму з застосуванням фільтрації

Другий важливий етап у процесі розпізнавання диму — це фільтрація сигналів. Цей етап включає в себе використання цифрових фільтрів для видалення шумів, таких як пил, водяна пара або зміни освітлення, які можуть викликати помилкові тривоги. Шумові перешкоди здатні впливати на чутливість детекторів, тому алгоритми фільтрації є критично важливими для досягнення високої точності.

Для цього використовуються різні типи фільтрів, такі як фільтри Калмана, які дозволяють зменшити похибки вимірювання, та фільтри середнього значення, що сприяють згладжуванню сигналу. Адаптивні фільтри також можуть використовуватися для корекції сигналу в реальному часі, в залежності від умов навколишнього середовища [31].

Застосування фільтрації дозволяє системі зосередитися на реальних змінах у сигналі, а не на випадкових коливаннях, що підвищує загальну надійність системи. В результаті алгоритм може точно виявляти дим навіть у складних умовах, де рівень шуму є значним.

Однією з основних формул, що використовуються для опису поведінки фільтрів, є рівняння фільтрації:

$$y[n] = a_0 \cdot x[n] + a_1 \cdot x[n - 1] + b_1 \cdot y[n - 1], \quad (2.3)$$

де: $y[n]$ — вихідний сигнал фільтра; $x[n]$ — вхідний сигнал; a_0, a_1, b_1 — коефіцієнти фільтра.

Ці коефіцієнти можуть бути налаштовані в залежності від умов експлуатації для забезпечення оптимальної фільтрації.

Мікропроцесорний модуль отримує сигнал $S(t)$, який включає корисний сигнал і шум:

$$S(t) = S_{\text{корисн}}(t) + \xi_{\text{шум}}(t), \quad (2.4)$$

де: $S_{\text{корисн}}(t)$ — сигнал, спричинений наявністю диму; $\xi_{\text{шум}}(t)$ — випадковий шум.

Тому для мінімізації хибних спрацювань та підвищення точності і швидкості виявлення тривоги потрібно використати фільтрацію шумів. Для цього можна використати декілька методів:

1) Рухоме (ковзне) середнє

Цей метод усуває випадкові коливання шляхом усереднення значень сигналу в певному часовому вікні N :

$$S_{\text{філт}}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} S(t - i), \quad (2.5)$$

Де: N — ширина вікна усереднення (тобто кількість точок, які беруть участь в обчисленні середнього); $S_{\text{філт}}$ — результат згладженого сигналу в момент часу (t)

Іноді використовують зважене ковзне середнє, коли кожній точці в вікні N надається своя вага:

$$S_{\text{філт}}(t) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} w[i] \cdot x[t-i]}{\sum_{i=0}^{N-1} w[i]}, \quad (2.6)$$

Де: $w[i]$ — вагові коефіцієнти, які зазвичай обирають так, щоб сума дорівнювала 1

2) Низькочастотний фільтр

Найбільш підходящим низькочастотним фільтром для даного типу виробів є фільтр Баттерворта адже він згладжує сигнал, зберігаючи низькочастотні компоненти:

$$H(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + (f/f_c)^{2n}}}, \quad (2.7)$$

де: f — частота сигналу; f_c — частота зрізу; n — порядок фільтра.

Також ключеву роль для зменшення кількості хибних спрацьовувань має аналіз тривалості перевищення порогу. Дим вважається підтвердженим, якщо перевищення триває довше певного часу.

Нижче приведена блок-схема алгоритму обробки сигналу з застосуванням фільтрації.

На рисунку 2.3 показана блок-схема алгоритму фільтрації.



Рисунок 2.3 – блок-схема алгоритму фільтрації.

На рисунку 2.4 візуалізовано процес обробки сигналу для виявлення диму з застосуванням ковзного середнього.

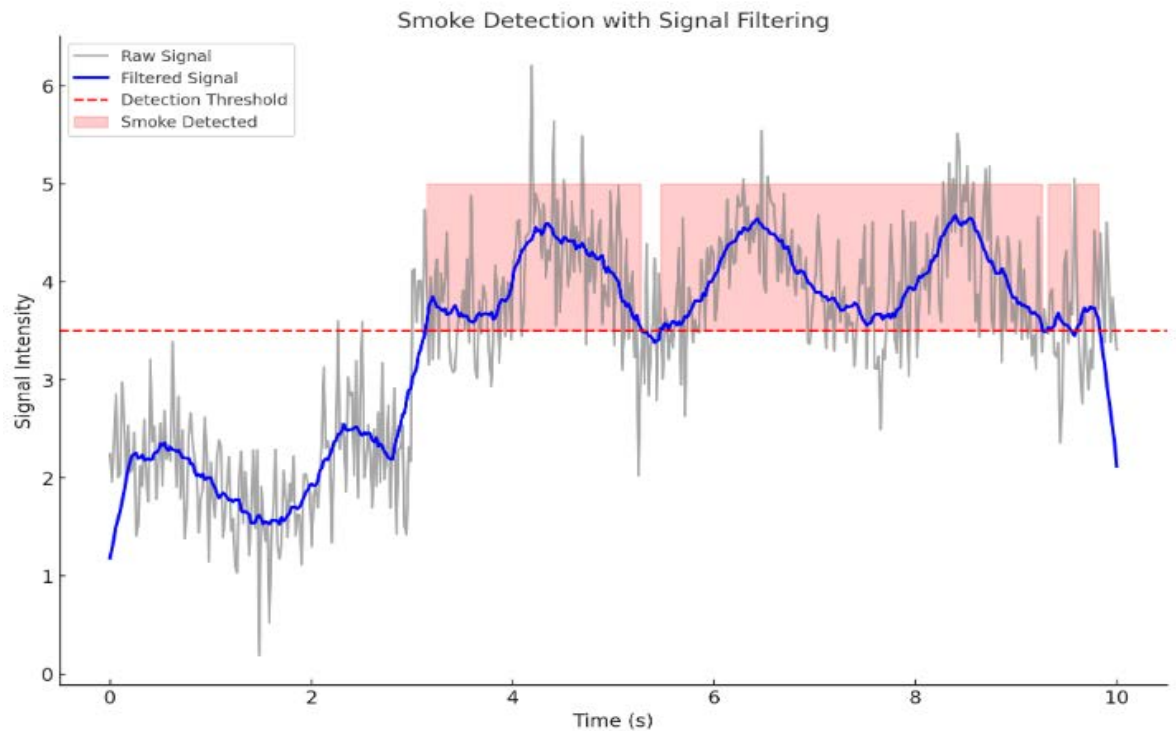


Рисунок 2.4 – Візуалізація процесу фільтрації з застосуванням рухомого середнього.

Де: Сірий графік — сирий сигнал з шумами; Синій графік — відфільтрований сигнал після застосування ковзного середнього; Червона пунктирна лінія — порогове значення для виявлення диму; Червоні області — моменти, коли сигнал перевищує поріг, що вказує на наявність диму.

2.4 Алгоритм виявлення пожежі з автокалібруванням

Сучасні системи виявлення диму інтегрують алгоритми автокалібрування, що дозволяють системі адаптуватися до змін у навколишньому середовищі. Ці алгоритми аналізують історичні дані про сигнали, щоб визначити оптимальні порогові значення для різних умов експлуатації. Наприклад, в умовах підвищеного запилення системи можуть автоматично коригувати свої пороги, щоб уникнути хибних тривог [32]. Автокалібрування дозволяє підтримувати точність і зменшувати кількість

хибних тривог, викликаних фоновими шумами чи деградацією елементів датчика.

Для початку розглянемо основну модель вимірювання сигналу оптичного датчика. Оптичний датчик вимірює інтенсивність світлового потоку, розсіяного частинками диму. Основне рівняння моделі:

$$S(t) = I_0 \cdot T_{env} \cdot R_d + N(t), \quad (2.8)$$

де: $S(t)$ — виміряний сигнал у момент часу t ; I_0 — початкова інтенсивність джерела світла; T_{env} — коефіцієнт прозорості середовища (враховує чистоту повітря); R_d — коефіцієнт розсіювання диму; $N(t)$ — фоновий шум.

Автокалібрування враховує фонові умови, такі як природний пил чи деградація компонентів. Нехай S_{ref} — базовий сигнал у чистому середовищі. Він визначається як середнє значення сигналу за певний час без присутності диму:

$$S_{ref} = \frac{1}{T_{cal}} \int_{t_0}^{t_0 + T_{cal}} S(t) dt, \quad (2.9)$$

де: T_{cal} — час калібрування; t_0 — початковий момент часу для калібрування.

Оновлений рівень сигналу після автокалібрування:

$$S_{cor}(t) = S(t) - S_{ref}. \quad (2.10)$$

Порогове значення θ також може динамічно оновлюватися на основі короткострокової оцінки фонових умов. Для цього використовують ковзне середнє стандартного відхилення σN за останні M вимірювань:

$$\theta_{new} = \alpha \cdot \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (N_i - \bar{N}_{current})^2}, \quad (2.11)$$

Де: $N_{current}$ — поточне виміряне значення шуму; N_i — значення сигналу в момент часу i ; M — кількість точок у фоновій вибірці.

Алгоритм розрахунку порогу:

1. Зібрати M початкових точок N_i для оцінки фонових шумів.

2. Обчислити середнє значення шуму:

$$\bar{N} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M N_i . \quad (2.12)$$

3. Визначити стандартне відхилення шуму:

$$\sigma N = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (N_i - \bar{N})^2} . \quad (2.13)$$

4. Розрахувати початковий поріг:

$$\theta = \alpha \cdot \sigma N . \quad (2.14)$$

Також до автокалібрування можна віднести самонавчання. Самонавчальні алгоритми базуються на методах машинного навчання, які здатні виявляти закономірності в даних. З часом система стає більш чутливою до реальних загроз і менш чутливою до випадкових перешкод. Це дозволяє підвищити ефективність роботи системи в умовах, де присутні постійні змінні, такі як пил, дим від сигарет чи інші частинки.

Інтеграція даних із кількох сенсорів, таких як датчики температури, концентрації CO, та диму, дозволяє побудувати більш надійні системи виявлення пожежі, знижуючи ймовірність хибних спрацювань і підвищуючи чутливість. Нижче наведено основні алгоритми та підходи до інтеграції даних:

Для оцінки ефективності самонавчання можна використовувати метрику, яка вимірює точність системи:

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} . \quad (2.15)$$

де: TP — кількість істинних позитивних спрацювань; TN — кількість істинних негативних спрацювань; FP — кількість хибних позитивних спрацювань; FN — кількість хибних негативних спрацювань.

На рисунку 2.5 показана блок-схема алгоритму автокалібрування.



Рисунок 2.5 – блок-схема алгоритму автокалібрування

На рисунку 2.6 показано, як адаптивний поріг (червона лінія) реагує на динамічний рівень шуму та сигнал. Синій графік представляє виміряний сигнал, який містить як шум, так і можливу наявність диму. Зелена пунктирна лінія відображає згладжене шумове тіло.

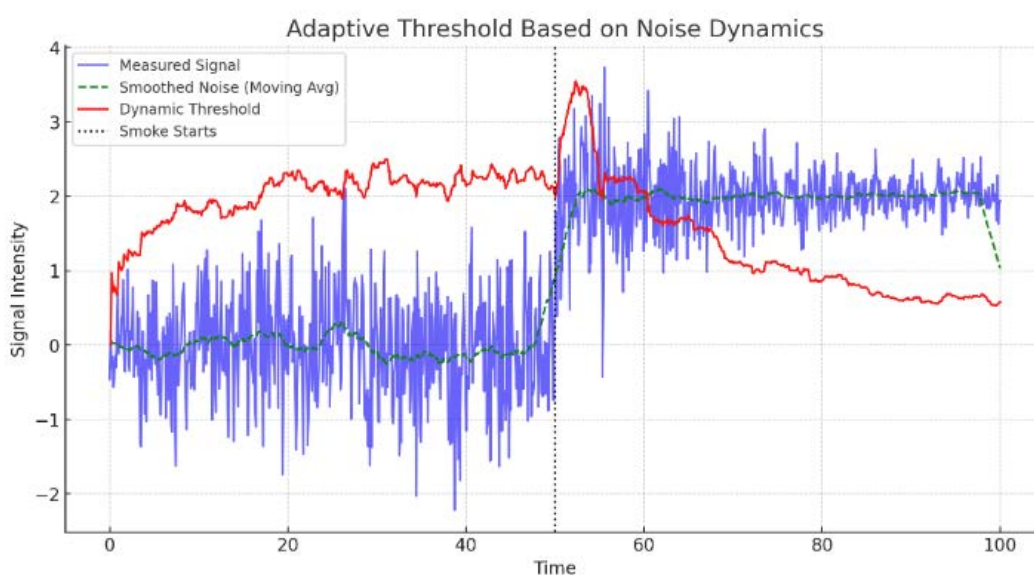


Рисунок 2.6 – Реакція адаптивного порогу на динамічний шум та сигнал тривоги

Чітко видно момент, коли сигнал перевищує поріг (після появи диму в $t=50$), що дозволяє системі ідентифікувати пожежу. Це демонструє ефективність алгоритму адаптивної порогової детекції.

2.5 Алгоритми інтеграції даних з різних джерел

Інтеграція даних з кількох сенсорів є ще одним важливим етапом у розпізнаванні диму. У сучасних багатоканальних системах кілька сенсорів можуть працювати одночасно, передаючи свої дані до мікропроцесора. Це дозволяє системі використовувати колективну інформацію для виявлення загрози, що значно підвищує точність виявлення диму [33]. Інтеграція даних із кількох сенсорів, таких як датчики температури, концентрації CO, та диму, дозволяє побудувати більш надійні системи виявлення пожежі, знижуючи ймовірність хибних спрацювань і підвищуючи чутливість. Нижче наведено основні алгоритми та підходи до інтеграції даних:

Алгоритм на основі порогового аналізу. Цей підхід об'єднує сигнали від різних сенсорів шляхом перевірки, чи перевищують вони окремі порогові значення.

$$S_{integrated} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } T > T_{threshold} \vee CO > CO_{threshold} \vee D > D_{threshold} \\ 0, \text{ в інших випадках} \end{cases}, \quad (2.16)$$

де: T — температура; CO — концентрація чадного газу; D — інтенсивність сигналу димового сенсора.

До переваг такого методу можна віднести простоту реалізації але суттєвим недоліком являється високий ризик хибних тривог.

Бассівський підхід. Імовірнісний метод, що обчислює загальну ймовірність пожежі на основі даних із кількох сенсорів.

$$P(\text{fire} | T, CO, D) = \frac{P(T, CO, D)P(T, CO, D | \text{fire}) \cdot P(\text{fire})}{P(T, CO, D)}, \quad (2.17)$$

де: $P(\text{fire} | T, CO, D)$ — ймовірність пожежі за даними сенсорів; $P(T, CO, D | \text{fire})$ — ймовірність отримання таких даних за умов пожежі; $P(\text{fire})$ — початкова ймовірність пожежі; $P(T, CO, D)$ — нормалізуючий коефіцієнт.

До переваг такого методу можна віднести гнучкість налаштування і врахування різної ваги сенсорів, що дає можливість відфільтровувати показники з сенсорів які можуть реагувати не лише на пожежі, а і на інші збудники. Наприклад є реакція димової камери по перевищенню порогу, але інші сенсори в нормі, це дає можливість відфільтрувати пар і пил, а після довготривалого перевищення порогу сповістити про несправність або видати попередження з проханням перевірити датчик. Але також недоліком являється потреба у значному обсязі навчальних даних різних комбінацій перевищення порогів з різних сенсорів.

Алгоритм зваженого сумування використовує вагові коефіцієнти для об'єднання сигналів від різних сенсорів.

$$S_{integrated} = w_T \cdot T + w_{CO} \cdot CO + w_D \cdot D, \quad (2.18)$$

Де: w_T, w_{CO}, w_D — вагові коефіцієнти, які визначають вплив кожного сенсора на фінальне рішення.

Алгоритм зваженого середнього:

(2.19)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

де: $\bar{x}$ — зважене середнє; w_i — вага 1-го детектора; x_i — сигнал 1-го детектора.

Цей підхід передбачає, що кожен сенсор доповнює інформацію інших, що особливо важливо в складних умовах, таких як великі виробничі приміщення, де ризик помилкових спрацьовувань може бути вищим через різноманітність джерел шуму. Алгоритм інтеграції обробляє дані з усіх детекторів і приймає рішення на основі зібраної інформації, що дозволяє уникати помилкових спрацьовувань.

На рисунку 2.7 показана блок-схема алгоритму інтеграції даних.

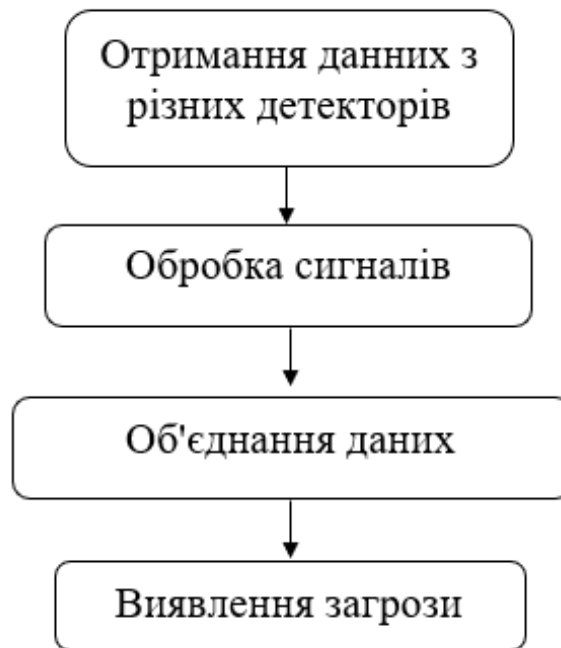


Рисунок 2.7 – блок-схема алгоритму інтеграції даних.

Алгоритми розпізнавання диму та зниження хибних тривог є критичними елементами для підвищення ефективності та надійності сучасних систем виявлення диму. Оскільки димові детектори працюють у різних умовах, включаючи забруднене або вологе середовище, важливо, щоб система могла правильно розпізнавати дим від інших частинок або факторів, які можуть спричиняти хибні тривоги, таких як пил, пар або сторонні об'єкти в повітрі. Для цього сучасні детектори використовують спеціальні алгоритми обробки сигналів, які включають фільтрацію даних, аналіз патернів розсіювання світла і зіставлення з референтними моделями поведінки диму.

На рисунку 2.8 показано інтеграцію даних із трьох сенсорів (температури, концентрації CO, та інтенсивності диму) з візуалізацією тривоги.

Нормалізовані сигнали: Жовта лінія — температура; Рожева лінія — інтенсивність сигналу димового сенсора; Помаранчева лінія — концентрація CO.

Інтегрований сигнал (червона лінія): Розраховується як зважена сума даних усіх сенсорів; Показує загальний рівень ризику.

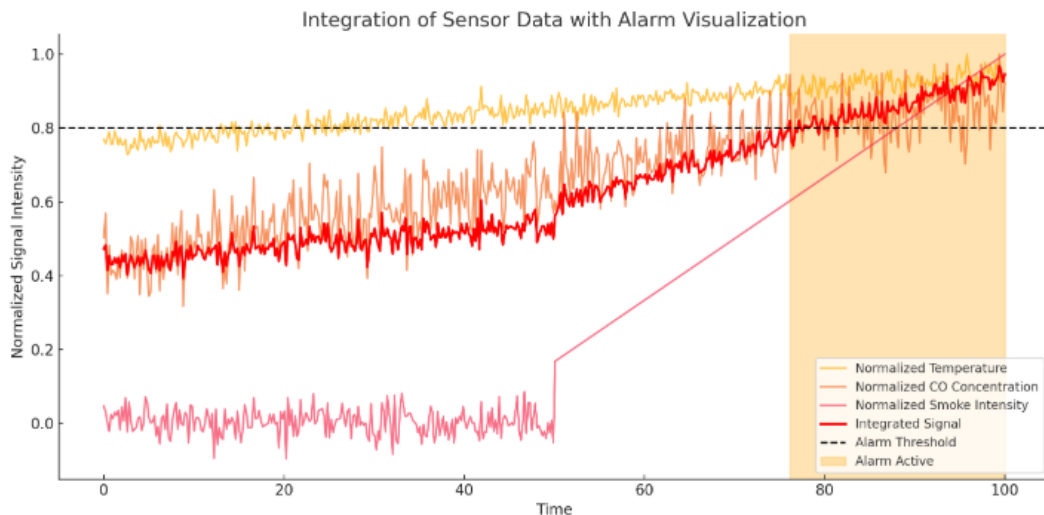


Рисунок 2.8 – візуалізація даних з 3-х різних сенсорів

Поріг тривоги (чорна пунктирна лінія) якщо інтегрований сигнал перевищує цей поріг, спрацьовує тривога.

Зона тривоги відображається помаранчевою заливкою, вона активується, коли інтегрований сигнал перевищує поріг.

Методи фільтрації сигналів, як, наприклад, цифрові фільтри низьких частот, дозволяють виключити короточасні сплески сигналу, викликані випадковими факторами, і зосередитися на тривалих змінах інтенсивності світла, що є характерними для справжнього задимлення. Крім того, технології самонавчання і машинного навчання можуть аналізувати зміни в умовах навколишнього середовища та адаптуватися до них, знижуючи кількість хибних тривог і підвищуючи точність сповіщення про справжні загрози. Наприклад, система може навчитися розрізняти дим від сигарет та диму від пожежі, використовуючи алгоритми класифікації на основі зібраних даних.

Інтеграція даних з кількох сенсорів також є важливим аспектом. Сучасні системи виявлення диму можуть використовувати одночасно кілька типів датчиків, наприклад, оптико-електронні та температурні. Це дозволяє порівнювати інформацію з різних джерел, зменшуючи ймовірність помилок. Якщо сигнал від одного датчика викликає підозру, але не підтверджується іншими сенсорами, система може затримати сповіщення або провести

додатковий аналіз. Загальний алгоритм роботи димогово сповіщувача зображений на рисунку 2.9



Рисунок 2.9– Алгоритм роботи димогово сповіщувача

Завдяки впровадженню таких передових алгоритмів і систем обробки даних, оптико-електронні детектори стають не лише більш точними, але й більш стійкими до зовнішніх факторів, що підвищує їх надійність у складних умовах експлуатації. Це особливо важливо в місцях з підвищеними вимогами до безпеки, таких як великі промислові підприємства, громадські будівлі та транспортні вузли. У результаті, алгоритми розпізнавання диму та зниження хибних тривог відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності та безперебійної роботи систем протипожежної безпеки, що сприяє покращенню загальної безпеки людей та зменшенню матеріальних втрат у випадку пожежі.

3 МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ДЕТЕКТОРУ ДИМУ

3.1 Вибір оптимального методу детектування пожежі

Вибір оптимального методу детектування диму є ключовим аспектом при розробці ефективних протипожежних систем. Від цього залежить не лише швидкість реагування на пожежу, але й точність виявлення, мінімізація хибних спрацювань та загальна надійність системи. У цьому розділі розглянуто метод розсіювання світла як основний підхід до детектування диму, а також обґрунтовано використання комбінованого детектора, що інтегрує датчики температури та чадного газу (CO).

Метод розсіювання світла є одним із найпоширеніших підходів до оптико-електронного детектування диму. Його основна ідея полягає у використанні джерела світла (зазвичай LED) та фотодатчика, розташованих під певним кутом один до одного. Коли частинки диму потрапляють у промінь світла, вони розсіюють його, що призводить до зміни інтенсивності світла, що досягає фотодатчика.

Для підвищення точності та надійності системи детектування диму було обрано комбінований підхід, що інтегрує датчики температури та чадного газу (CO) разом із оптико-електронним детектором диму. Такий підхід дозволяє системі враховувати різні параметри середовища, що значно знижує ймовірність хибних спрацювань і підвищує точність виявлення пожежі[32].

Компоненти комбінованого детектора:

1. Оптико-електронний детектор диму: Виявляє присутність диму через розсіювання світла.
2. Датчик температури: Вимірює зміни температури навколишнього середовища, що може свідчити про розвиток пожежі.
3. Датчик чадного газу (CO): Виявляє підвищені рівні CO, які є показником неповного згоряння та можливого виникнення пожежі.

Принцип роботи комбінованого детектора:

1. Збір даних: Кожен датчик збирає інформацію про відповідні параметри середовища (дим, температура, CO).
2. Попередня обробка: Сигнали від датчиків фільтруються та піддаються первинному аналізу для виділення корисної інформації.
3. Інтеграція даних: Зібрані дані об'єднуються в єдину систему, що дозволяє здійснювати комплексний аналіз.
4. Прийняття рішення: На основі інтегрованих даних система визначає ймовірність наявності пожежі та активує сигналізацію у разі підтвердження.
5. Активування сигналізації: У разі виявлення пожежі система сигналізує про небезпеку через звукові та візуальні індикатори.

До переваг комбінованого підходу можна віднести використання різних параметрів для аналізу ситуації (наприклад, підвищення концентрації частинок в димовій камері, підвищення температури та концентрації чадного газу) це значно знижує ймовірність хибних спрацьовувань. Такий підхід дозволяє системі враховувати різні ознаки пожежі, що робить її більш надійною та точною. Один із ключових недоліків традиційних протипожежних систем – це їх схильність до хибних спрацьовувань.[33] Використання комбінованого підходу дозволяє значно знизити цю проблему завдяки аналізу різних факторів. Наприклад, якщо димова камера забруднена пилом, система може вважати це за підвищення концентрації частинок, що може призвести до помилкового сигналу тривоги. Однак, у разі відсутності зростання температури або виділення чадного газу, система здатна визначити, що ситуація не є небезпечною, і уникнути спрацьовування сигналізації.

Застосування оптико-електронного детектора диму, разом із сенсорами температури та чадного газу, дозволяє інтегрувати різні фізичні параметри, такі як:

1) Підвищення концентрації частинок у димовій камері. Це один із ключових показників, який реагує на появу продуктів згоряння в повітрі. Оптико-електронний детектор використовує принцип розсіювання світла частинками диму, що дозволяє визначати навіть незначні зміни в повітрі.

2) Зростання температури. Температурний сенсор відстежує нагрівання середовища, яке є типовою ознакою пожежі. Особливо це актуально для випадків, коли пожежа супроводжується сильним нагріванням, але не утворюється дим, як, наприклад, у разі загоряння електрообладнання.

3) Концентрація чадного газу (CO). Датчик CO виявляє появу газів, які є продуктами неповного згоряння, навіть до того, як вогонь стане видимим. Це дозволяє реагувати на пожежу ще на ранніх стадіях її розвитку.

Комбінований підхід підвищує чутливість системи до різних типів пожеж. Датчики чадного газу можуть виявити горіння ще до появи значного задимлення, тоді як сенсор температури реагує на зростання температури середовища. Завдяки цьому система здатна виявити пожежу на ранніх стадіях, що дозволяє зменшити збитки та ризики для людей.

Також даний підхід забезпечує стабільну роботу навіть у несприятливих умовах, таких як підвищена вологість, наявність пилу чи інших факторів, що можуть впливати на окремі сенсори. Наприклад, якщо димовий датчик втрачає чутливість через забруднення, інформація від температурного сенсора або датчика CO може компенсувати цю проблему.

До недоліки комбінованого підходу вноситься складність системи адже додаткові компоненти, такі як температурні сенсори та газоаналізатори, ускладнюють конструкцію системи. Це може створити труднощі під час монтажу, налаштування та обслуговування. Наприклад, кожен сенсор потребує правильного калібрування, а його інтеграція в загальну систему вимагає спеціалізованого програмного забезпечення та апаратури. Ще однією з проблем є підвищення вартість адже використання декількох датчиків і більш складних алгоритмів обробки даних збільшує загальну вартість системи. Необхідність встановлення додаткових сенсорів, підключення до центрального блоку

управління та забезпечення надійного живлення впливає на собівартість розробки і впровадження. Для бюджетних систем цей недолік може стати критичним[34].

Комбінований підхід є ефективним рішенням для створення сучасних протипожежних систем, оскільки він забезпечує високу точність і чутливість до різних ознак пожежі. Однак його використання вимагає зваженого підходу через збільшену складність і вартість. Вибір такого підходу залежить від вимог до надійності системи та фінансових можливостей замовника. Але якщо ми розглядаємо сучасну систему з максимальною ефективністю то цей метод являється самим оптимальним.

Вибір методу розсіювання світла у поєднанні з інтеграцією даних від датчиків температури та СО був обґрунтований кількома ключовими факторами:

1. Чутливість та точність: Метод розсіювання світла забезпечує високу чутливість до диму.
2. Раннє виявлення: Комбінований підхід дозволяє системі реагувати на різні ознаки пожежі, що сприяє більш ранньому виявленню та швидкій реакції.
3. Стабільність у різних умовах: Інтеграція датчиків температури та СО допомагає системі працювати ефективно навіть у складних середовищах, де можуть бути присутні інші джерела шуму або зміни умов освітлення.
4. Зменшення хибних спрацьовувань: Аналіз декількох параметрів одночасно дозволяє точніше визначати наявність пожежі, знижуючи ймовірність хибних тривог, що є важливим для забезпечення надійності системи та зручності користувачів.

Вибір методу розсіювання світла у поєднанні з використанням датчиків температури та СО є оптимальним рішенням для розробки ефективного оптико-електронного детектора диму. Цей підхід забезпечує високу чутливість,

точність та стабільність роботи системи в різних умовах експлуатації, що робить його незамінним компонентом сучасних протипожежних систем[35].

3.2 Моделювання димової камери

Димова камера є ключовим компонентом оптико-електронного димового сповіщувача, що забезпечує виявлення диму на основі аналізу оптичних властивостей частинок. Конструкція димової камери, її тип та параметри суттєво впливають на точність і стабільність роботи системи. Залежно від конструктивних особливостей, димові камери поділяють на відкриті та закриті, кожна з яких має свої переваги й недоліки.

Відкриті димові камери характеризуються тим, що частинки диму потрапляють у зону детектування безпосередньо з навколишнього середовища. Вони забезпечують швидке реагування на зміну концентрації диму, оскільки не мають перешкод для його проникнення. Однак такі камери менш захищені від зовнішніх впливів, наприклад, пилу, світла чи потоку повітря. Через це відкриті камери частіше використовуються в приміщеннях, де вплив зовнішніх факторів є мінімальним, наприклад, в офісах чи житлових приміщеннях. Їхня конструкція зазвичай проста: корпус із світлопоглинальними стінками, джерело світла, фотодетектор і вентиляційні отвори для забезпечення природного руху повітря. До сповіщувачів відкритого типу відноситься виріб фірми Бош FAP-500, який представлений на рис. 3.1. [36]

Закриті димові камери мають напівгерметичний корпус, що захищає внутрішній простір від впливу зовнішніх факторів. Вони використовують спеціальні фільтри або вентиляційні канали для пропускання повітря лише у визначеній кількості, що дозволяє мінімізувати ризик помилкових спрацьовувань через пил або потоки світла. Така конструкція є більш складною та дорогою, але забезпечує підвищену точність детектування диму навіть у складних умовах, наприклад, у промислових приміщеннях або місцях із великим рівнем забруднення. У закритих камерах частіше застосовують

принцип розсіювання світла, оскільки герметичний простір дозволяє більш точно аналізувати сигнали, викликані частинками диму[37].



Рисунок 3.1 – Сповіщувач з відкритою камерою FAR-500

У цього сповіщувача зона виявлення (позиція 7 на рис. 3.2) знаходиться поза корпусом виробу.на цьому рисунку застосовані також позначення: 2- фотоприймач, 3- випромінювач.

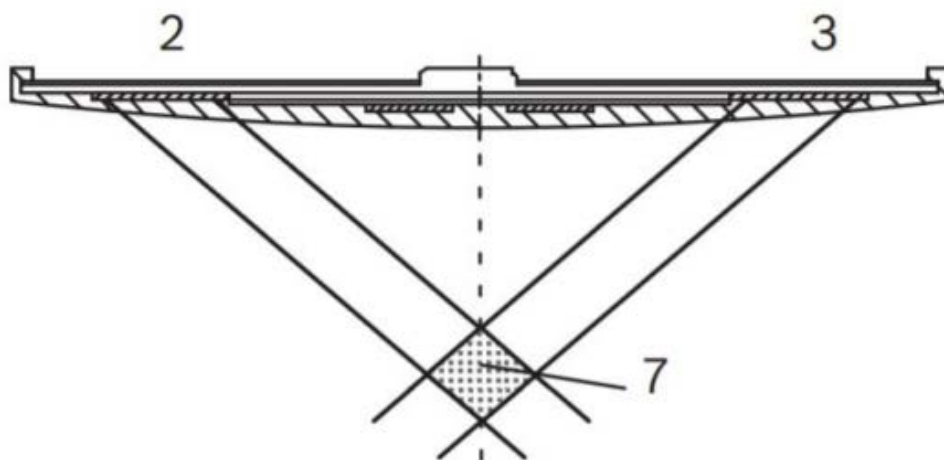


Рисунок 3.2 – схематичне зображення зони виявлення та основних елементів сповіщувача FAR-500

Всі сповіщувачі серії FAP-500 обладнані двома оптичними сенсорами та сенсором забруднення. Всі сигнали з сенсорів постійно аналізуються внутрішніми електронними засобами обробки сигналу і зв'язуються один з одним через спеціально розроблені алгоритми. Для нормальної роботи сповіщувача в радіусі 0,5 м від нього не повинно бути ніяких предметів.

Димові пожежні сповіщувачі, які використовують принцип розсіяного світла, у більшості сконструйовані та працюють таким чином: в сповіщувач встановлюють камеру димового сенсору з двома спеціальними утримувачами для інфрачервоного світлодіода та фотодіода, які виконані під кутом 120° - 140° . Завдяки тому, що утримувачі мають бленди, тілесні кути поля зору фотодіода і світло діода обмежені та направлені вздовж їх оптичних осей. На перетині тілесних кутів створюється чутлива зона. Конструкція камери димового сенсора виконана з чорного пластику таким чином, що повітря в неї може попадати без перешкод, але на фотодіод не потрапляє ні зовнішнє світло, ні світло від інфрачервоного світлодіода. При пожежі дим (тверді, дрібні частинки) потрапляє в чутливу камеру і забезпечує заломлення і відбиття інфрачервоних променів, які випромінює світлодіод. Частина інфрачервоних променів при заломленні освітлює фотодіод, що веде до зміни його електричних параметрів, а це призводить до включення тривожної схеми сповіщувача. На рисунку 3.3 умовно зображено камеру димового сенсору оптичного димового пожежного сповіщувача, яка знаходиться в черговому стані і в тривожному стані, коли дим потрапив в чутливу камеру (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Умовне зображення димової камери в нормальному стані і в тривозі

Ще однією важливою складовою є матеріали, з яких виготовляють стінки камери. Зазвичай вони мають матову світлопоглинальну поверхню для уникнення відбиття світла, або ребристу поверхню для кращого перевідбиття прямих променів, на рисунку 3.4 показано приклад такої камери. У відкритих камерах іноді додають спеціальні фільтри, які затримують пил або інші великі частинки, що не є ознакою пожежі, але можуть викликати спотворення сигналу[38].

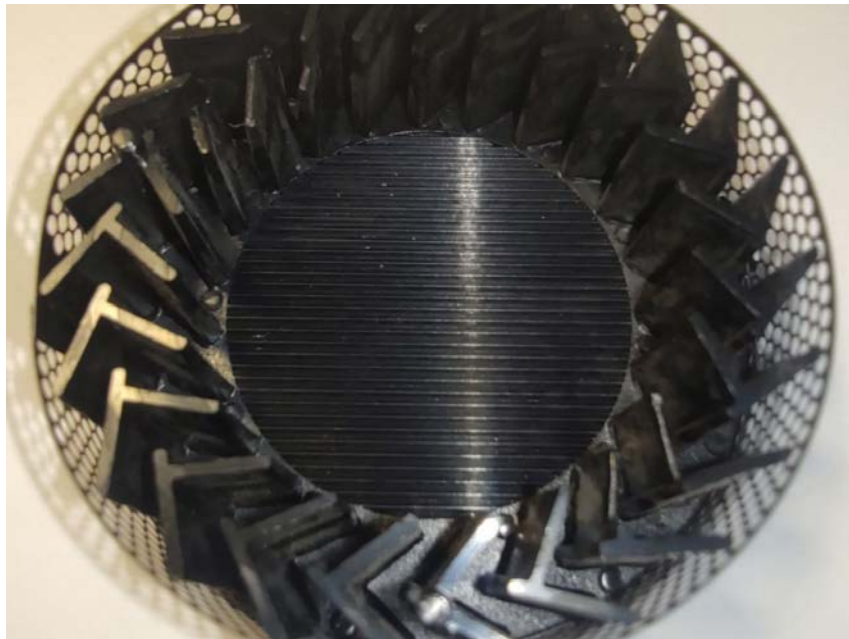


Рисунок 3.4 – Вигляд димової камера всередині

Залежно від застосування, димові камери можуть мати різні розміри та форми що зображено на рисунку 3.5. У компактних пристроях для житлових приміщень використовуються маленькі камери із мінімальною витратою енергії, тоді як у промислових системах можуть бути встановлені більші модулі з розширеним функціоналом, включаючи інтеграцію з іншими датчиками, такими як датчики температури чи чадного газу.

Таким чином, вибір типу та конструкції димової камери залежить від конкретних умов її використання, вимог до точності та надійності, а також економічних факторів. Правильно спроектована камера забезпечує високу

чутливість, мінімізацію хибних тривог і стабільну роботу протягом тривалого часу навіть у складних умовах експлуатації.



Рисунок 3.5 – Різноманіття розмірів і форм димових камер

Таким чином, вибір типу та конструкції димової камери залежить від конкретних умов її використання, вимог до точності та надійності, а також економічних факторів. Правильно спроектована камера забезпечує високу чутливість, мінімізацію хибних тривог і стабільну роботу протягом тривалого часу навіть у складних умовах експлуатації.

При виборі димової камери для оптико-електронного димового сповіщувача необхідно враховувати кілька ключових параметрів, які впливають на її ефективність та надійність. Правильний вибір димової камери забезпечить стабільну роботу системи навіть у складних умовах експлуатації.

Одним із найважливіших параметрів є чутливість до диму. Від цього показника залежить, наскільки швидко камера реагуватиме на зміну концентрації диму в повітрі. Оптимальна чутливість дозволяє забезпечити раннє виявлення пожежі, що особливо важливо для запобігання поширенню вогню. Надмірно висока чутливість може призводити до хибних тривог, тому слід обирати димову камеру з балансом між чутливістю та стійкістю до перешкод.

Протистояння засвіткам є ще одним важливим фактором. Зовнішнє світло, наприклад, від сонця або яскравих ламп, може викликати хибні спрацьовування, якщо камера не захищена належним чином. Для мінімізації цього впливу використовуються спеціальні конструкції з бар'єрами для зовнішнього світла та матові покриття на внутрішніх стінках камери. Такі рішення забезпечують точність роботи навіть у приміщеннях з високим рівнем освітлення.

Стійкість до запилення є критичною для роботи у промислових умовах або в приміщеннях, де повітря містить велику кількість частинок пилу. Пил може осідати на оптичних компонентах, знижуючи їхню ефективність. Для захисту від цього в димових камерах передбачаються спеціальні фільтри або герметичні корпуси. Крім того, деякі моделі обладнані автоматичними системами очищення або сигналами, що інформують про необхідність технічного обслуговування.

Обрана мною камера виготовлена заводом виробником ТОВ «Тірас-12» і по характеристикам задовольняє всі потреби. Так наприклад вона складається з 4х елементів, які показані на рисунку 3.6

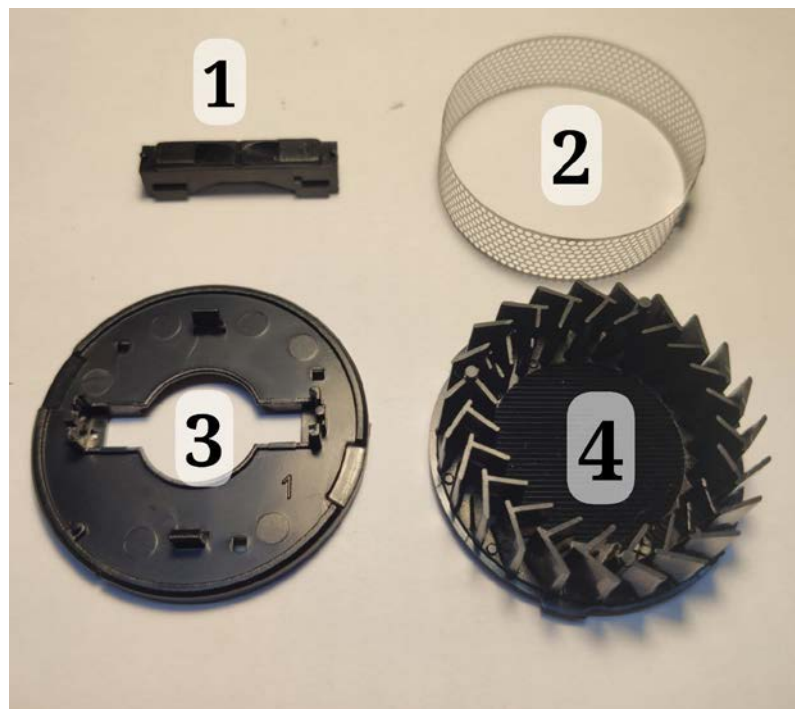


Рисунок 3.6 – Основні складові димової камери

Першим елементом димової камери являється тримач інфрачервоного світлодіода та фотодіода, рознесення кута нахилу виконане з типовим кутом рознесення 120° рис.3.6 зображення 1. Наступним елементом являється захист димової камери який виконаний в вигляді перфорованої сітки, саме вона запобігає потраплянню комах і великих частинок сміття всередину камери, що в свою чергу запобігає хибним тривогам рис.3.6 зображення 2. Третім елементом камери являється низ, який на собі утримує тримач світлодіода та своїми елементами кріплення приєднується до плати виробу рис.3.6 зображення 3. І ключевим елементом являється верхня частина димової камери яка запобігає потраплянню світлових променів та розсіює інфрачервоні промені всередині самої камери, задля запобіганню прямого потрапляння цих променів в фотодіод. На верхній стінці також можна побачити ребристу структуру що допомагає більш ефективно розсіювати інфрачервоні промені всередині камери рис.3.6 зображення 4.

3.3 Моделювання задимлення

Для оцінки ефективності та характеристик розробленої димової камери передбачається проведення випробувань у спеціалізованому димовому тунелі AW Tech 3000. Зображеному на рисунку 3.7. Цей сучасний пристрій дозволяє створювати контрольовані умови для тестування та калібрування оптичних детекторів диму. Димовий тунель є ключовим інструментом у процесі сертифікації та оптимізації роботи протипожежних систем[39].

Димовий тунель серії AW Tech 3000 має широкі функціональні можливості для роботи з оптико-електронними детекторами диму. Основною особливістю пристрою є здатність забезпечувати постійну та точно регульовану концентрацію аерозолю, що дозволяє проводити випробування в умовах, максимально наближених до реальних. Завдяки використанню високоточних оптичних датчиків розсіювання, тунель контролює рівень задимлення та підтримує його стабільність протягом усього циклу випробувань.

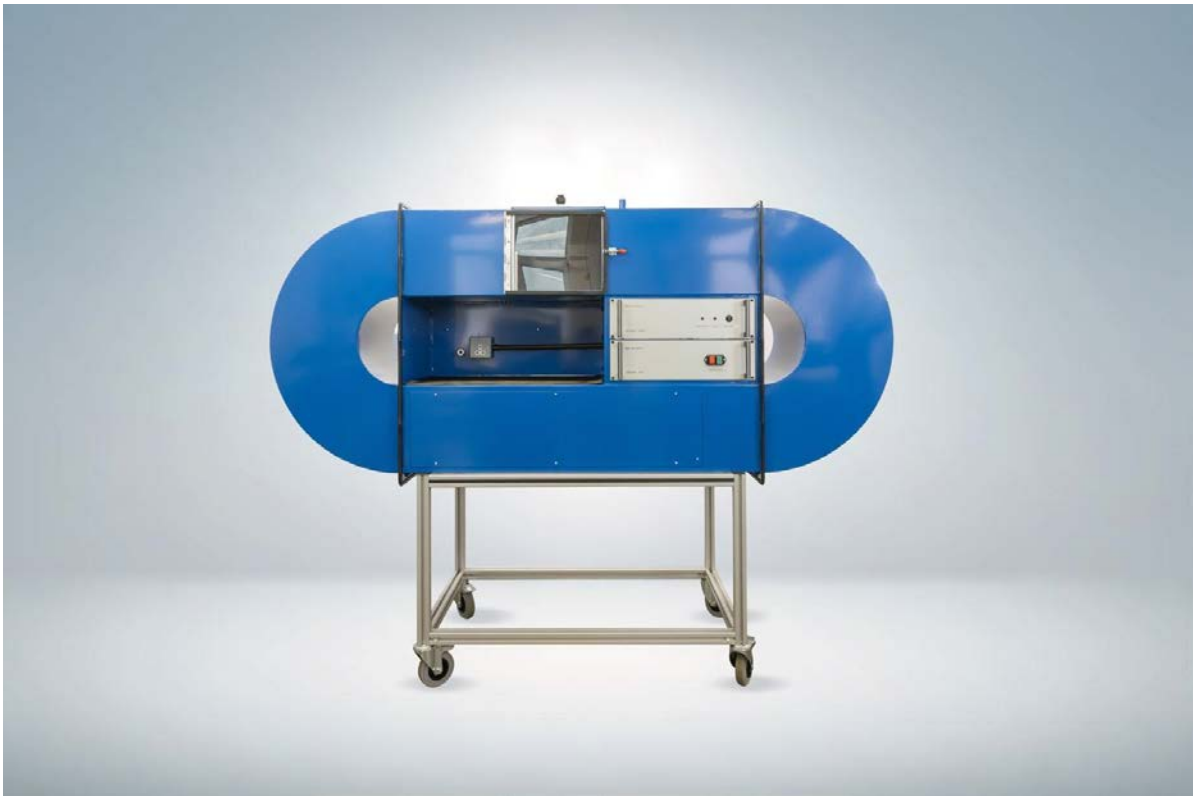


Рисунок 3.7 – Димовий тунель AW Tech 3000

Однією з ключових переваг димового тунелю AW Tech 3000 є можливість виставляти різні рівні концентрації задимлення відповідно до стандартів та вимог конкретних тестів. Це дозволяє проводити випробування димової камери в широкому діапазоні умов, оцінюючи її чутливість, точність детектування та швидкість реакції на дим. Наприклад, можна змодельовати слабе задимлення для перевірки чутливості пристрою на ранніх стадіях загоряння або високий рівень концентрації аерозолю для аналізу роботи камери у критичних умовах.

Тунель AW Tech 3000 спеціально розроблений для роботи з оптико-електронними детекторами диму та сигналізаторами. Його основне призначення – калібрування таких пристроїв на виробничих лініях. На рисунку 3.8 [41]показане автоматичне завантаження димових сповіщувачів у димовий тунель. Під час калібрування забезпечується висока повторюваність результатів завдяки стабільності умов випробувань. Згідно з інформацією виробника, цей пристрій відповідає міжнародним стандартам, що гарантує точність і надійність отриманих результатів.



Рисунок 3.8 – Автоматизована лінія перевірки димових сповіщувачів

Для роботи з димовим тунелем використовуються спеціальні аерозолі, що імітують димові частинки. Ці аерозолі мають задані характеристики, такі як розмір частинок, ступінь розсіювання світла та концентрація, що дозволяє перевіряти параметри димової камери, такі як:

- Чутливість до диму. Тунель дозволяє визначити мінімальну концентрацію частинок диму, при якій камера активується.
- Швидкість реакції. Випробування в різних умовах задимлення дають змогу оцінити, як швидко камера реагує на зміну рівня диму.
- Стійкість до перешкод. У тунелі можна змоделювати умови, які потенційно викликають хибні спрацьовування, наприклад, вплив пилу або стороннього світла.

Використання димового тунелю AW Tech 3000 дозволяє імітувати різні типи задимлення завдяки застосуванню аерозолів із заданими характеристиками. Ці аерозолі можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як полімери, масла або спеціальні димові суміші, що імітують частинки, які утворюються під час горіння різних речовин.

Особливістю цих аерозолів є те, що вони мають різний розмір частинок, що впливає на їхню здатність до розсіювання світла. Наприклад:

- Дрібні частинки (порядку 0.1–1 мікрметра) зазвичай утворюються під час тління матеріалів, таких як дерево або текстиль. Вони дають більш рівномірний і слабкий сигнал у димовій камері.
- Великі частинки (понад 1 мікрметр) характерні для горіння полімерів або масел, створюючи сильніший сигнал, що забезпечує швидке реагування димової камери.

Завдяки зміні розміру частинок у димовому тунелі можна симулювати різні сценарії, які відображають характеристики диму під час пожеж у різних матеріалах. Це дозволяє перевірити, як димова камера реагує на різні типи диму, зокрема:

- Тління (наприклад, в офісних меблях або папері).
- Горіння пластиків чи хімічних речовин.
- Задимлення, спричинене побутовими приладами або кухонними загоряннями.

Різний розмір частинок також впливає на інтенсивність розсіювання світла, що дозволяє оцінити ефективність оптико-електронної системи при роботі з димами різного походження. Для систем, які базуються на принципі розсіювання світла, така адаптація забезпечує точніші результати і дозволяє визначити чутливість сенсорів до різних умов задимлення.

Наприклад, під час тестування можна моделювати густий дим із великими частинками для оцінки реакції камери в умовах сильного загоряння, а також легке задимлення з дрібними частинками, яке характерне для початкової стадії тління. Це не лише покращує якість калібрування, але й дозволяє врахувати специфічні умови експлуатації, забезпечуючи універсальність і надійність роботи пристрою.

Такий підхід є надзвичайно корисним для комбінованих систем, які, окрім оптичного сенсора, мають датчики температури та чадного газу. Це дозволяє проводити випробування всього комплексу сенсорів в умовах, які максимально наближені до реальних пожежних ситуацій.

Аерозоль який генерується для калібрування і основної перевірки дієздатності димового сповіщувача утворюється з рідкого парафіну парафіну за допомогою генератору аерозолі Toras ATM226. На рисунку 3.9 показано пік масового розподілу, який лежить між 0,5 мкм і 1,0 мкм, як вимагає EN54-7

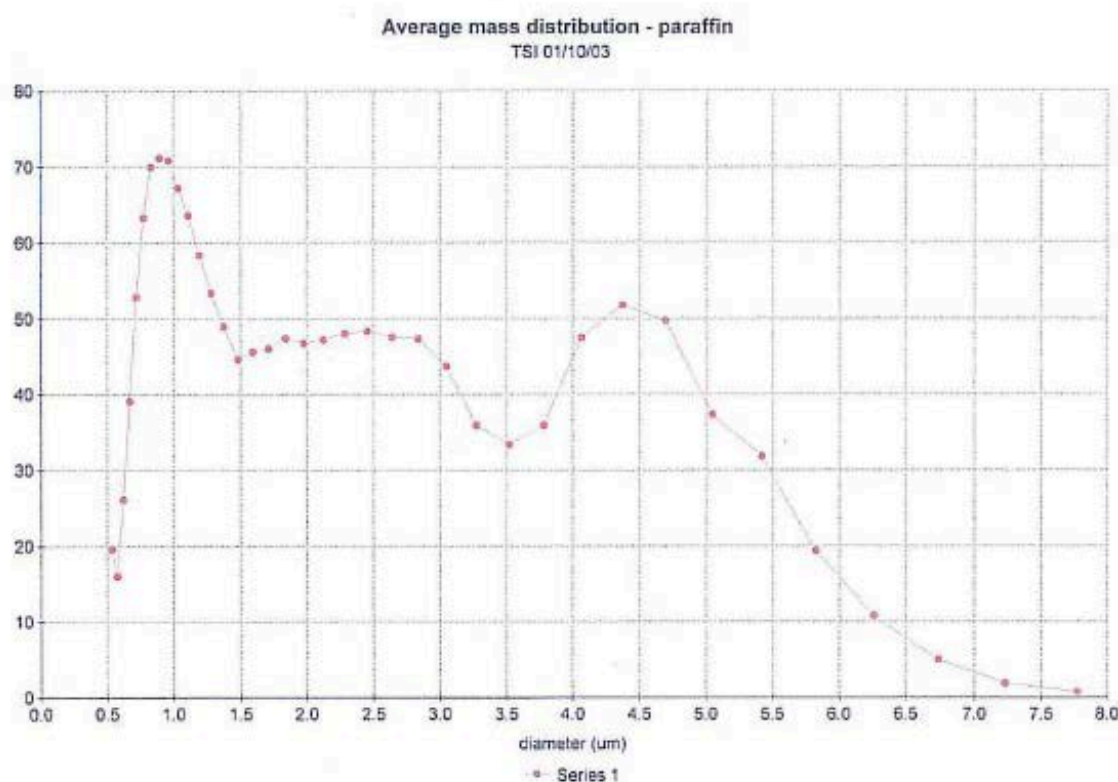


Рисунок 3.9 – Графік масового розподілу частинок аерозолі

Аерозоль впорскується в тунель перед циркуляційним вентилятором. Швидкість аерозолі впорскування автоматично регулюється до необхідної швидкості шляхом контролю періоду ввімкнення аерозольного генератора.

Окрім основних випробувань, у димовому тунелі можна проводити калібрування алгоритмів обробки сигналів димової камери. Це дозволяє оптимізувати програмне забезпечення пристрою та підвищити його ефективність у виявленні пожежі.

Універсальність AW Tech 3000 робить його незамінним інструментом для тестування не лише димових камер, а й комбінованих пристроїв, які інтегрують декілька типів сенсорів, наприклад, датчики чадного газу чи температури.

Такий підхід дозволяє перевіряти комплексні системи в реальних умовах, моделюючи ситуації, які можуть виникнути на практиці.

Таким чином, випробування димової камери в димовому тунелі AW Tech 3000 дає змогу провести повний аналіз її параметрів, включаючи чутливість, швидкість реагування та стійкість до перешкод. Отримані результати сприятимуть удосконаленню конструкції камери та оптимізації її роботи для підвищення ефективності протипожежної системи.

Для моделювання задимлення використаємо описаний димовий тунель обрану димову камеру в складі корпусу готового виробу. Сам димовий сповіщувач буде встановлений на підвісну платформу всередині димового тунелю рисунок 3.10



Рисунок 3.10 – Встановлення сповіщувача всередині димового тунелю

Для задавання параметрів димового тунелю буде використаний програмний пакет «LabTunnel» рисунок 3.11, який постачається з тунелем, та забезпечує:

- Вимірювання та контроль впорскування аерозолю, температури тесту, зміни температурного контролю (якщо вибрано) і очищення тунелю.
- Моніторинг детекторів, що тестуються.
- Прості елементи керування для автоматичного циклу тестування, відображення результатів і статус тунелю.
- Деталі тесту, включно з критеріями проходження/непроходження.
- Екран налаштування тунелю з тестовими функціями для калібрування та перевірки тунелю.
- Відображення та друк зареєстрованих даних.

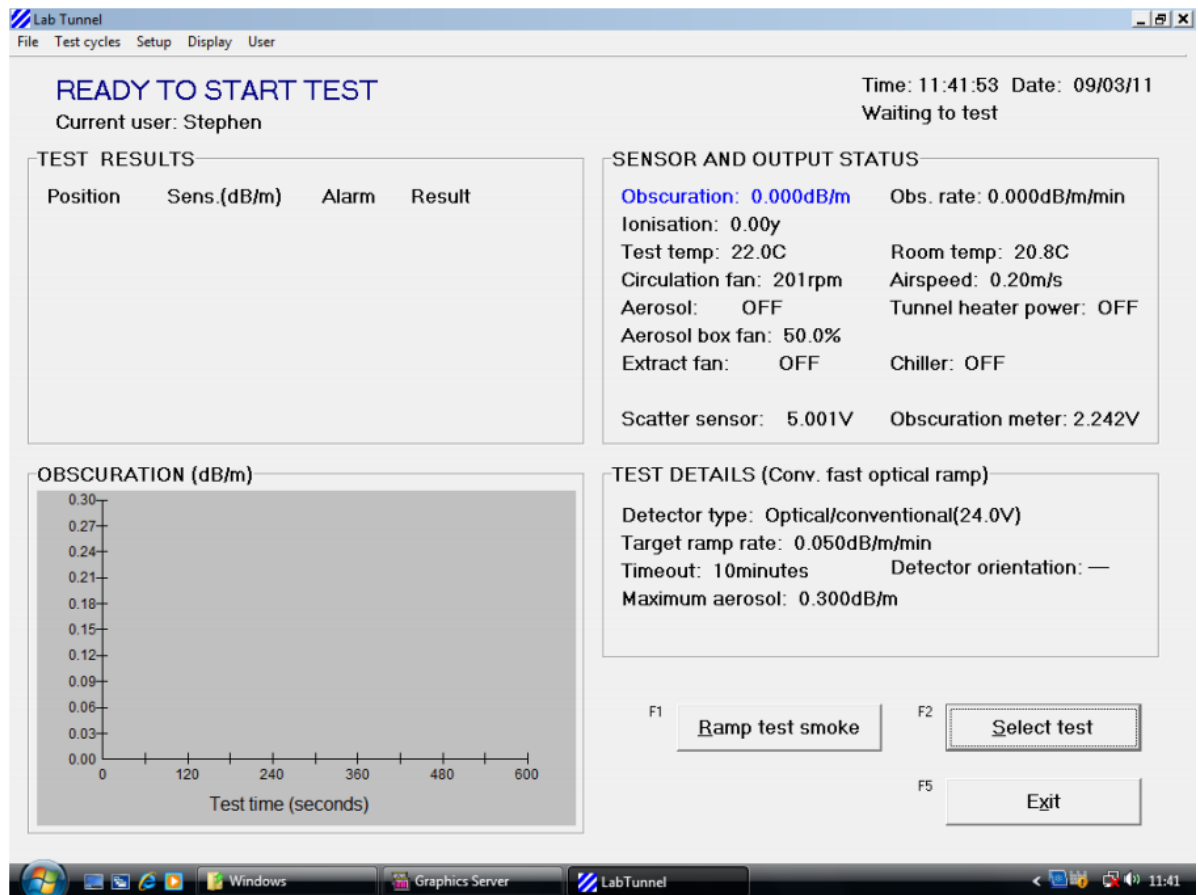


Рисунок 3.11 – Інтерфейс програми «LabTunnel»

Для забезпечення точності і коректності роботи димового сповіщувача у димовому тунелі AW Tech 3000 проводиться поетапне тестування, перший з яких це калібрування димового сповіщувача і воно складається з наступних дій:

Підготовка димового тунелю

Першим етапом є повна вентиляція димового тунелю для встановлення базового рівня задимленості на 0 дБм. Це забезпечує відсутність сторонніх частинок аерозолі в тунелі, що дозволяє починати тестування в ідеально "чистих" умовах. Рівень 0 дБм фіксується оптичним датчиком тунелю як відправна точка для подальших калібрувань. В програмі цей рівень можна побачити в вікні статусу димового тунелю, під назвою параметра SCATTER [40]Рисунок 3.12.

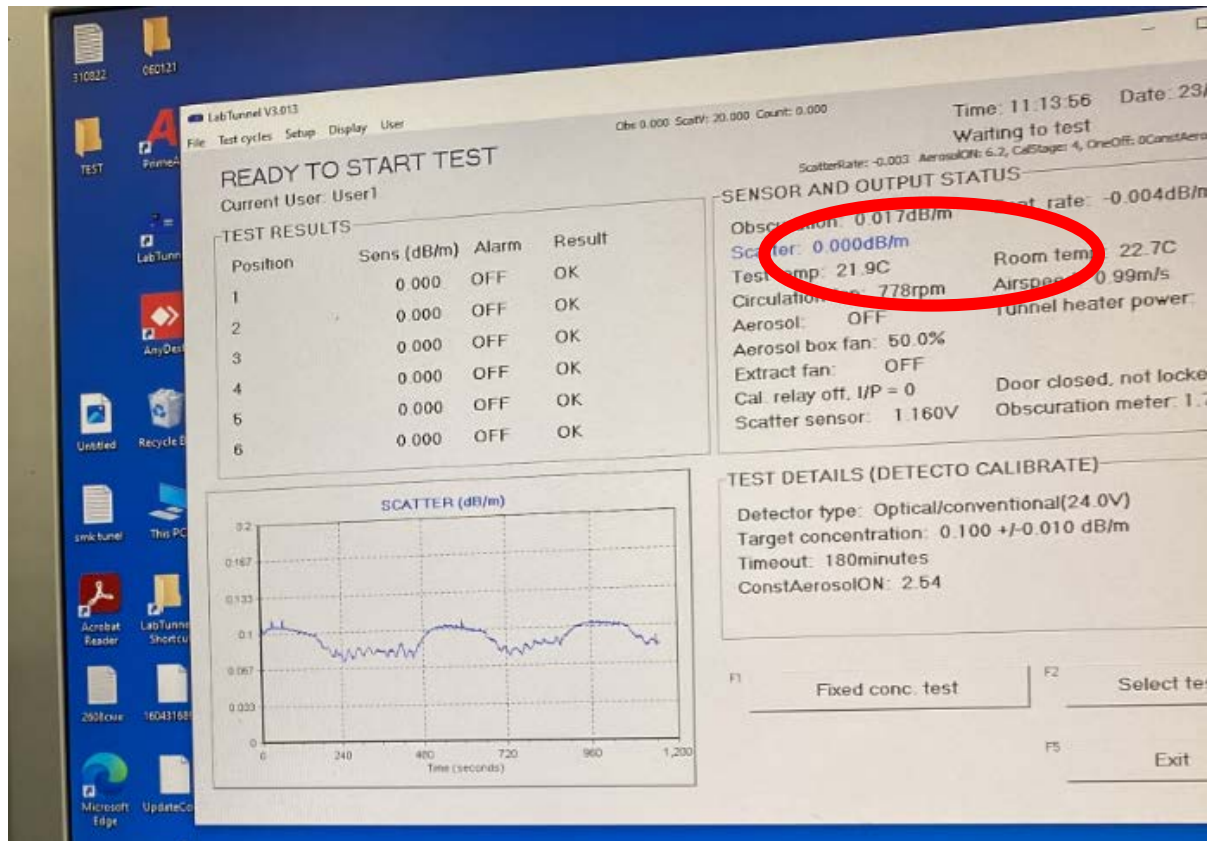


Рисунок 3.12 – Параметр SCATTER після вентиляції тунелю

Створення контрольної концентрації аерозолі

На другому етапі поступово збільшується концентрація аерозолі в димовій камері, доки не буде досягнуто рівня задимленості 0,1 дБм. Цей рівень відповідає умовам початкового задимлення, яке зазвичай використовується для калібрування димових сповіщувачів. Рівномірне розподілення аерозолі в тунелі забезпечується спеціальними вентиляторами та контролюється датчиком розсіювання.

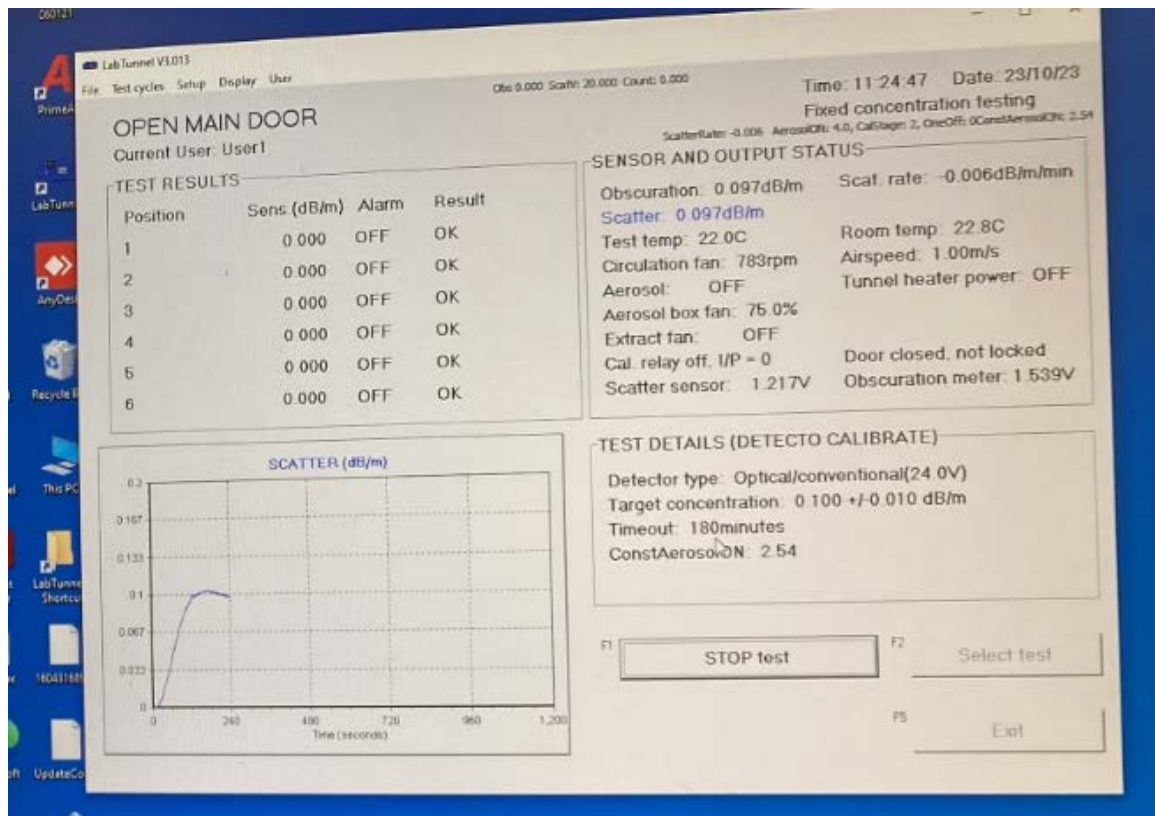


Рисунок 3.13 – Поступове збільшення концентрації аерозолі до 0.1 дБм.

Калібрування димового сповіщувача

Після досягнення рівня задимленості 0,1 дБм, проводиться запис калібрувальних коефіцієнтів у пам'ять димового сповіщувача. Цей етап дозволяє прив'язати сигнал, який надходить від сенсора, до реального рівня задимлення в тунелі. Сповіщувач отримує параметри, що відповідають концентрації аерозолі 0,1 дБм, і зберігає їх для подальшої обробки сигналу під час експлуатації.

Під час калібрування димовий сповіщувач який був підключений для вичитки даних з нього через інтерфейс UART показав 285 одиниць задимленості камери. (параметр R)

```
[10.23 11:17:36.6]
[10.23 11:17:36.6] R=285 DR=50=28 B=125| DB=20=10 C0=0 T=25=22 af=c2 mf=00 sd=0200
[10.23 11:17:41.61]
```

Повторна вентиляція тунелю

Завершальний етап калібрування передбачає повну вентиляцію димового тунелю для зменшення концентрації аерозолі до 0 дБм. Це дозволяє перевірити

коректність збережених калібрувальних параметрів, а також підтвердити, що сповіщувач повертається до базових налаштувань у чистому середовищі.

Цей процес повторюється за необхідності, щоб переконатися у стабільності та точності калібрування, а також у здатності димової камери надійно розпізнавати зміни концентрації диму. Ретельне дотримання цих етапів забезпечує високу якість і надійність роботи димового сповіщувача у реальних умовах експлуатації.

Після завершення калібрування димового сповіщувача в димовому тунелі AW Tech 3000 проводиться етап тестування, метою якого є перевірка коректності реакції сповіщувача на різні рівні концентрації диму.

Початкове налаштування та контроль чистого середовища

Перед початком тестування тунель вентилюється до базового рівня задимленості 0 дБм, що забезпечує відсутність сторонніх частинок аерозолі в повітрі. На цьому етапі перевіряється, що димовий сповіщувач не видає сигналу тривоги, що підтверджує його нормальну поведінку в умовах "чистого" середовища.

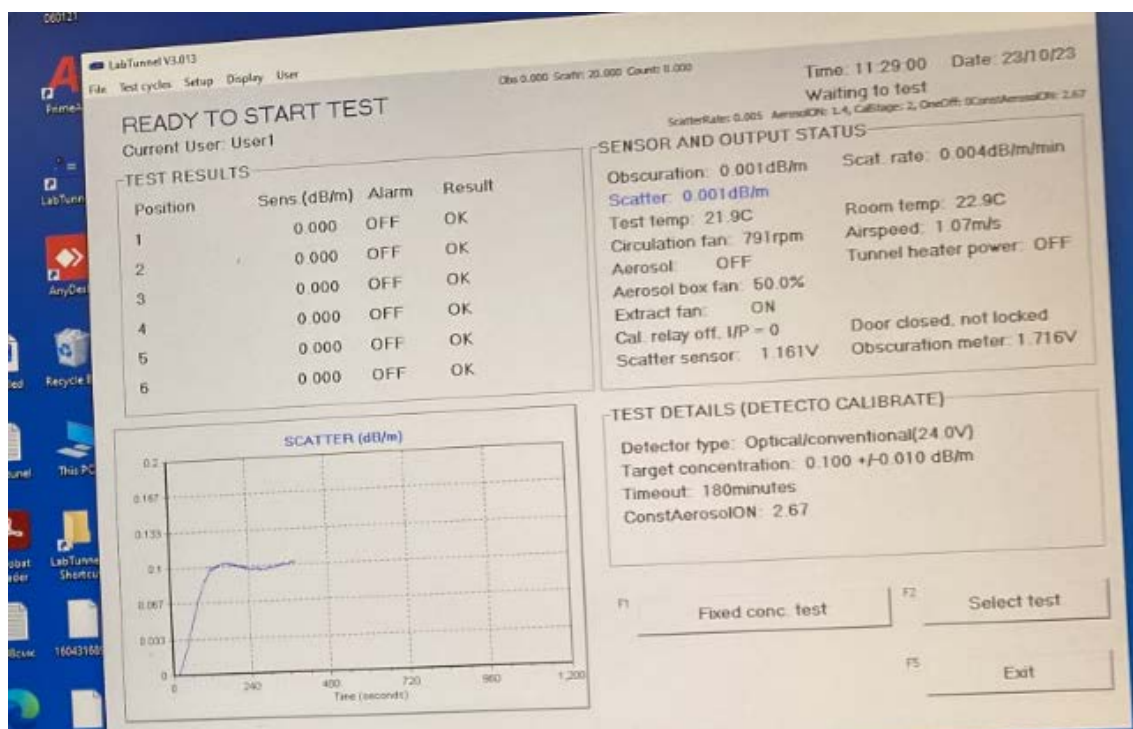


Рисунок 3.14 – Вентиляція тунелю до значення 0 дБм

Поступове збільшення концентрації диму

Для тестування концентрація аерозолю в тунелі починає поступово збільшуватись із кроком, що відповідає рівню точності вимірювань. Рівномірне підвищення концентрації диму дозволяє зібрати дані про роботу сенсора на кожному етапі, починаючи від мінімальних значень і до моменту, коли сповіщувач повинен зреагувати.

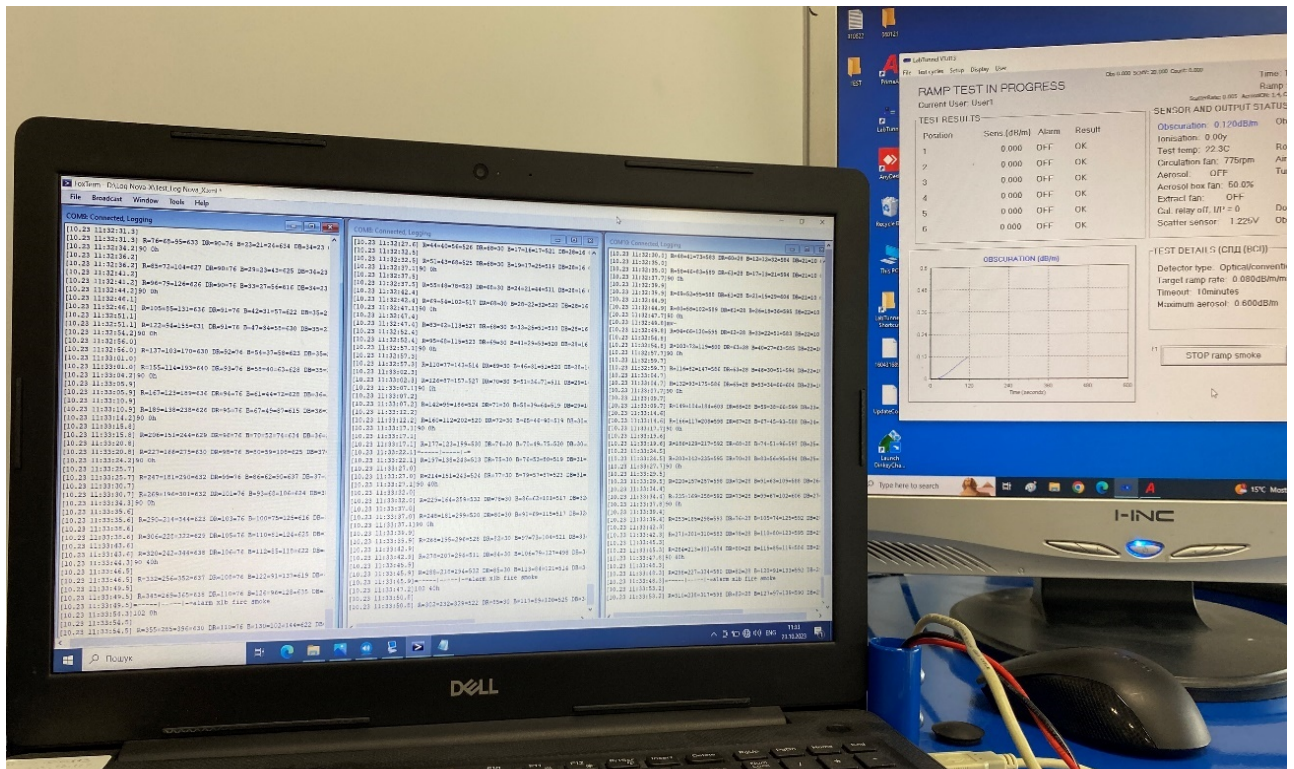
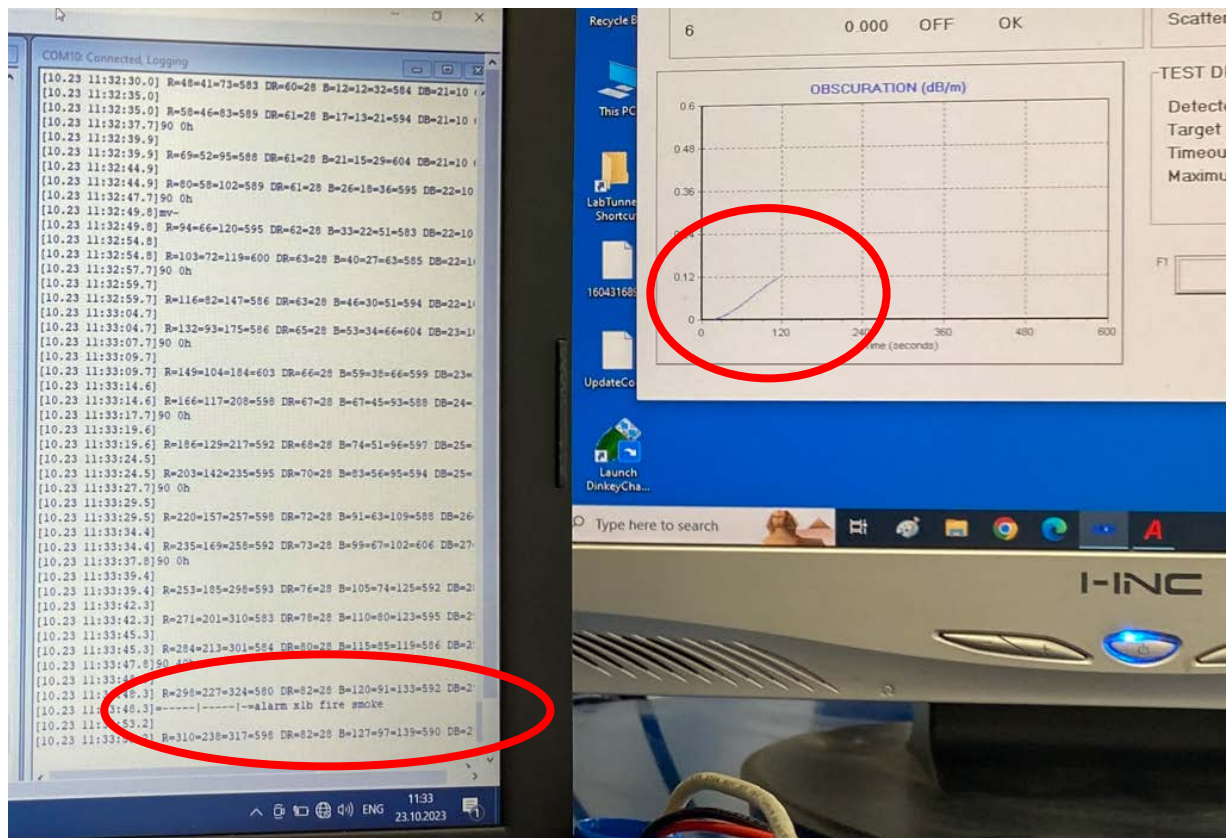


Рисунок 3.15 – Наростання рівня і фіксація результатів

Фіксація спрацювання димового сповіщувача

У процесі тестування передбачається, що при досягненні концентрації 0,12 дБм димовий сповіщувач має спрацювати. На цьому етапі фіксується час спрацювання сповіщувача, а також точність визначення рівня задимленості. Це дозволяє оцінити, наскільки швидко та коректно реагує пристрій на задимлення. На рисунку 3.16 бачимо результат, сповіщувач спрацював точно на 0,12 дБм, що свідчить про швидкість реакції сповіщувача і коректну калібровку.



```
[10.23 11:16:52.1] R=241 DR=50=28 B=102 DB=20=10 C0=0 T=25=23 af=c2 mf=00 sd=0200
[10.23 11:16:52.1]-----|-----|--alarm x1b fire smoke
```

Рисунок 3.16 – Фіксація спрацювання сповіщувача

Подальше підвищення концентрації диму

Після спрацювання сповіщувача концентрація аерозолі продовжує збільшуватись до максимального рівня 0,5 дБм. Це необхідно для перевірки коректності подальшої роботи пристрою та підтвердження, що димовий сповіщувач не втрачає чутливості у складніших умовах. Дані із сенсора записуються на всьому діапазоні концентрацій для подальшого аналізу.

При калібруванні сповіщувач показав рівень $R=285$ одиниць при рівні задимленості 0.1 дБм, а при задимленні 0.5 дБм рівень вже був $R=1407$ одиниць.

Виходячи з цих даних отримуємо що на початку вимірювань кожні 100 одиниць отримані сповіщувачем дорівнюють 0.035 дБм задимленості в камері. Тоді як під кінець вимірювань при концентрації 0.5 дБм так само кожні 100 одиниць від сповіщувача будуть дорівнювати 0.035 дБм задимленості в камері, що свідчить про лінійність вимірювань в димовій камері.

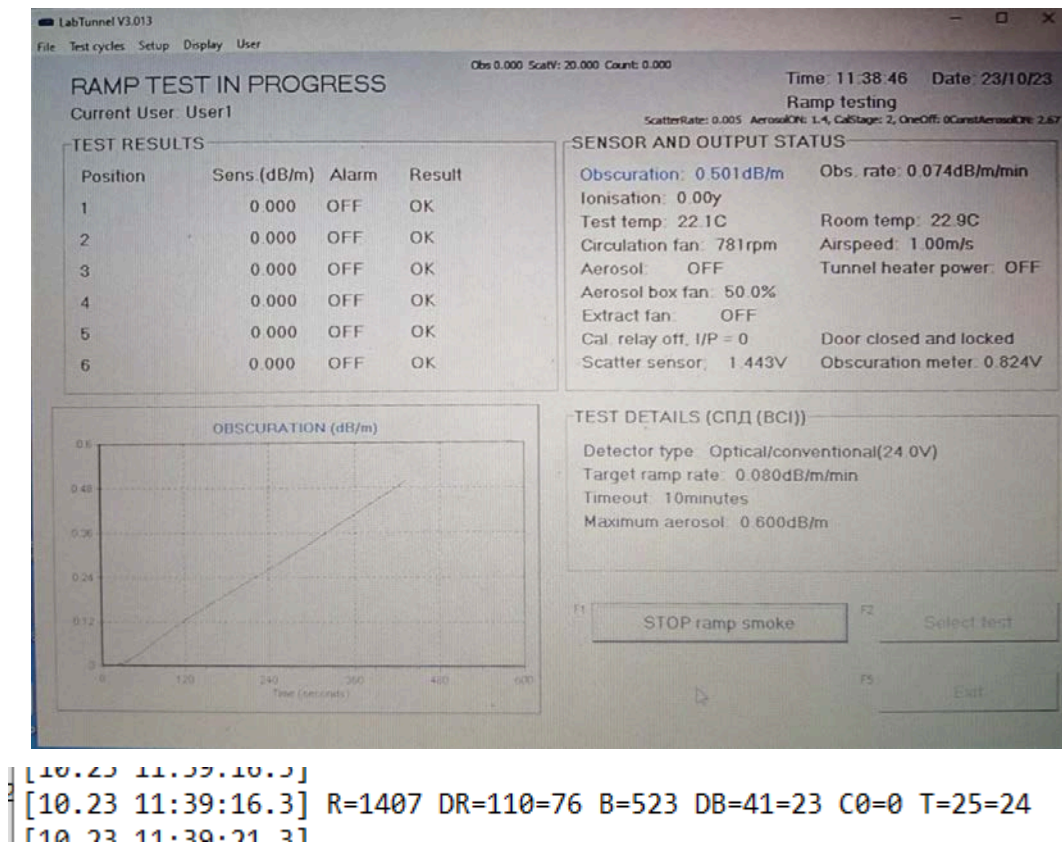


Рисунок 3.17 – Максимальне значення концентрації в камері

Аналіз результатів

Після завершення тестування проводиться оцінка зібраних даних. Основними критеріями є:

- о відповідність моменту спрацювання сповіщувача заданому рівню концентрації 0,12 дБм;
- о стабільність показань сенсора на всіх рівнях задимлення;
- о правильність функціонування пристрою при високій концентрації диму (до 0,5 дБм).

Висновки за результатами тестування

За результатами тестування підтверджується відповідність сповіщувача заданим технічним характеристикам. У разі виявлення відхилень проводиться корекція алгоритмів обробки сигналу або повторна калібровка пристрою.

Етап тестування дозволяє забезпечити надійність роботи димового сповіщувача в реальних умовах експлуатації, мінімізувати кількість хибних спрацювань і гарантувати своєчасне виявлення пожежі.

3.4 Визначення основних властивостей та характеристик використаної димової камери

Димова камера, обрана для інтеграції в систему оптико-електронного димового сповіщувача, має низку інженерних рішень, які забезпечують її ефективність, точність і тривалий термін експлуатації. Основні характеристики цієї камери були ретельно проаналізовані та протестовані для підтвердження її відповідності вимогам сучасних протипожежних систем.

Перш за все, мінімальний супротив до проходження диму через камеру є однією з найважливіших її особливостей. Завдяки цьому димові частинки легко потрапляють до зони розташування оптичних сенсорів, забезпечуючи високу чутливість до змін у концентрації диму. Це особливо важливо для своєчасного виявлення пожежі, адже камера здатна реагувати навіть на мінімальні концентрації задимлення, що дозволяє уникнути затримок у спрацюванні сигналізації.

Складна система внутрішніх ребер і перешкод є ключовим конструктивним елементом, який виконує декілька функцій. Однією з них є усунення засвіток від зовнішніх джерел світла. Ця властивість дозволяє димовій камері працювати в умовах, коли на неї можуть впливати сонячне світло, ліхтарі чи інші джерела яскравого освітлення. Завдяки цьому сенсори фіксують лише сигнали, пов'язані з розсіюванням світла частинками диму, що підвищує точність роботи сповіщувача.

Зовнішній захист камери виконаний у вигляді перфорованої сітки, яка також має багато переваг. По-перше, сітка запобігає потраплянню комах та пилу всередину камери, що значно знижує ризик забруднення оптичних елементів. Це дозволяє системі працювати стабільно навіть у середовищах із підвищеним рівнем запиленості, наприклад, у виробничих приміщеннях або на складах. По друге, сітка сприяє забезпеченню природного потоку повітря, завдяки чому камера зберігає високу чутливість до змін у концентрації диму.

Під час проведення випробувань у димовому тунелі AW Tech 3000 камера продемонструвала високу ефективність. Тестування підтвердило, що камера реагує на зміну концентрації диму з мінімальним часом затримки, який становить близько 1 секунди від моменту створення необхідної концентрації задимлення. Такий результат відповідає сучасним стандартам і є важливим для раннього оповіщення про пожежу, що мінімізує потенційні збитки та ризики для людей.

Матеріал, з якого виготовлена димова камера — це високоякісний АБС-пластик. Цей матеріал характеризується стійкістю до зношування, температурних коливань і впливу агресивних середовищ. Завдяки цьому камера має практично необмежений термін служби за умови регулярного обслуговування, що включає очищення внутрішніх поверхонь і перевірку працездатності оптичних елементів.

Закрита конструкція димової камери має значні переваги порівняно з відкритими аналогами. Вона забезпечує підвищений захист від зовнішніх впливів, таких як пил, волога та механічні ушкодження. Ця конструктивна особливість також сприяє зниженню кількості хибних тривог, що є важливим для підтримання стабільності роботи системи.

Додатково слід зазначити, що камера була розроблена з урахуванням високих вимог до стабільності роботи в різних умовах експлуатації. Наприклад, у середовищах із високою запиленістю або в зонах із сильними потоками повітря камера зберігає свою працездатність завдяки оптимальній конструкції внутрішніх компонентів і захисним елементам.

Таким чином, вибрана димова камера демонструє високу ефективність і надійність роботи в умовах, які можуть бути критичними для інших типів обладнання. Її чутливість, захист від засвіток і забруднення, а також довговічність роблять її ідеальним компонентом для сучасних систем оповіщення про пожежу.

4 РОЗРОБКА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО ДЕТЕКТОРУ ДИМУ

4.1 Формування технічних вимог до пристрою

Для розробки оптико-електронного детектора диму, який буде відповідати сучасним вимогам протипожежної безпеки, необхідно визначити ключові технічні характеристики, що забезпечать його ефективність, надійність та багатофункціональність. На основі проведеного аналізу та моделювання сформовано перелік основних технічних вимог до пристрою, який буде інтегрувати димову камеру з оптичним принципом дії, додаткові сенсори, а також забезпечувати енергоефективність і зручність використання. Основою пристрою димова камера, яка працює на базі принципу розсіювання світла. Вона забезпечує високу чутливість до дрібних частинок диму, стабільність роботи та мінімізацію хибних спрацьовувань. Вбудований оптичний сенсор повинен мати точність у вимірюванні розсіювання світла, а конструкція димової камери має запобігати впливу зовнішнього освітлення та пилу.

Димова камера на інфрачервоному світлодіоді. Однією з ключових характеристик пристрою є використання інфрачервоного світлодіода у димовій камері. Світлодіоди такого типу забезпечують стабільне джерело випромінювання, що не залежить від змін у зовнішньому освітленні. Вибір інфрачервоного спектру дозволяє пристрою працювати з високою ефективністю навіть у середовищах із високою запиленістю, оскільки такий тип випромінювання має мінімальні втрати через дрібні частинки.

Додатково використання інфрачервоного світлодіода знижує енергоспоживання, що є критично важливим для пристроїв, які живляться від батарейок. Камера повинна мати конструкцію, яка мінімізує відображення світла від внутрішніх поверхонь, забезпечуючи точність вимірювань та швидку реакцію на зміну концентрації диму.

Енергоефективність. Пристрій має бути енергоефективним, оскільки він розрахований на роботу від двох батарейок типу АА. Енергоефективність забезпечується як оптимізацією роботи електронних компонентів, так і

використанням енергозберігаючих алгоритмів обробки сигналів. Наприклад, оптичний сенсор і процесор можуть працювати в режимі періодичного сканування для зменшення енергоспоживання. Використання енергоефективних компонентів дозволяє забезпечити тривалу автономну роботу пристрою, що є критично важливим для протипожежних сповіщувачів.

Звукове оповіщення про тривогу. Одним із основних елементів функціоналу пристрою є наявність звукового оповіщення про тривогу. Вбудований динамік повинен генерувати звуковий сигнал гучністю не менше 85 дБ, що відповідає стандартам безпеки і дозволяє забезпечити своєчасне інформування користувача про загрозу. Звуковий сигнал має активуватися при перевищенні порогових значень концентрації диму, температури або рівня чадного газу.

Додатковий сенсор чадного газу (CO). Для підвищення функціональності пристрою передбачено інтеграцію сенсора чадного газу. Такий підхід дозволяє пристрою виявляти не лише дим, але й потенційно небезпечні концентрації CO, які можуть виникнути навіть за відсутності відкритого вогню. Сенсор чадного газу працює за принципом електрохімічного аналізу, що забезпечує високу точність і надійність вимірювань.

Додатково використання комбінованого підходу (дим + CO) знижує ймовірність хибних тривог, оскільки система реагує на кілька параметрів одночасно. Така функція особливо корисна у приміщеннях, де використовується газове обладнання, наприклад, у котельнях або кухнях.

Датчик температури Для більш точного розпізнавання пожежі в пристрої передбачено датчик температури. Цей сенсор дозволяє виявляти швидкі зміни температури, які є додатковою ознакою пожежі. Завдяки інтеграції температурного сенсора пристрій може використовувати комбіновані алгоритми аналізу, які включають перевірку концентрації диму, рівня CO та температури. Такий підхід забезпечує надійність роботи навіть у складних умовах, наприклад, при наявності парів або пилу.

Живлення від двох батарейок типу АА. Пристрій розрахований на автономну роботу від двох батарейок типу АА. Цей тип батарей є доступним і зручним для заміни, що спрощує обслуговування. Важливою характеристикою пристрою є низьке споживання енергії, що дозволяє забезпечити тривалий термін роботи без заміни елементів живлення.

Завдяки оптимізованій конструкції і продуманій схемі енергоспоживання очікується, що пристрій працюватиме від одного комплекту батарей протягом декількох років, залежно від інтенсивності експлуатації. Додатково передбачено індикатор низького рівня заряду батарей для своєчасного їх оновлення.

Таким чином, розроблений пристрій відповідає сучасним вимогам щодо точності, енергоефективності та багатофункціональності. Його технічні характеристики дозволяють ефективно виявляти пожежу, реагуючи на кілька різних параметрів, і забезпечують стабільну роботу в різних умовах експлуатації.

4.2 Вибір компонентів оптоелектронного детектора диму

На основі сформованих технічних вимог до пристрою було обрано основні радіоелементи, які забезпечують реалізацію заданих функцій. При виборі елементів враховувалися їх технічні характеристики, енергоефективність, надійність та відповідність завданням. У цьому підрозділі детально розглянемо обрані компоненти, їхні переваги та особливості.

TPS8802DCPR

Ця мікросхема (рисунок 4.1) є основним вузлом для роботи оптоелектронного детектора диму, оскільки забезпечує управління інфрачервоним світлодіодом і фотодіодом у димовій камері, а також передає дані на контролер через інтерфейс I2C.

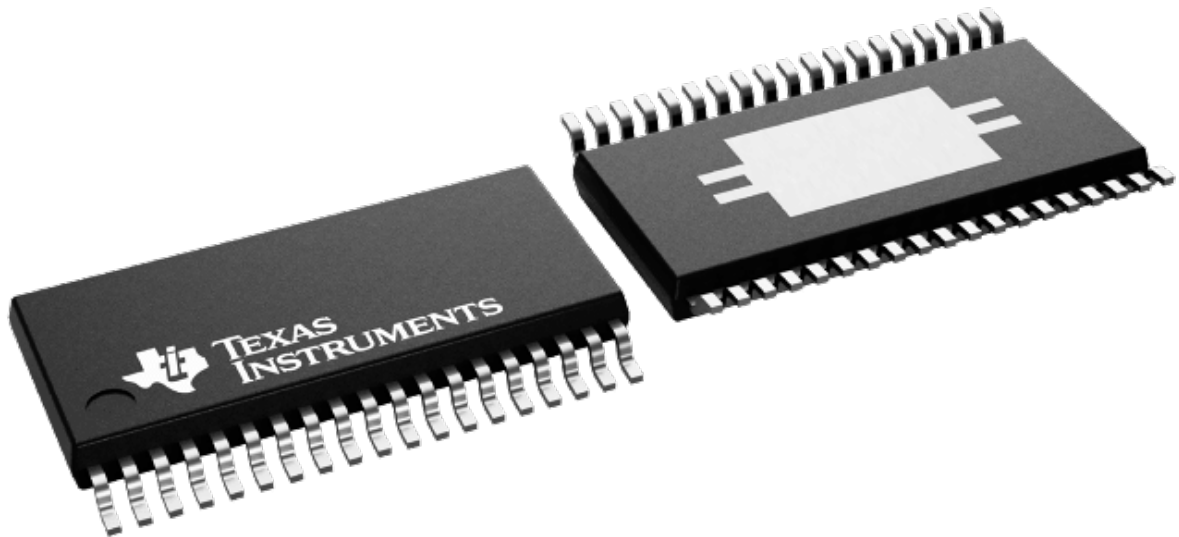


Рисунок 4.1 – Мікросхема TPS8802DCPR

Основні характеристики:

- Напруга живлення: 1.7–5.5 В
- Інтегрований аналого-цифровий перетворювач для аналізу сигналу з фотодіода
- Вбудована підтримка підключення СО сенсора
- Управління звуковою тривоною через бузер
- Інтерфейс передачі даних: I2C

Переваги:

- Компактність і багатофункціональність, що дозволяє значно спростити схему пристрою
- Низьке енергоспоживання, що забезпечує тривалу автономну роботу
- Висока точність аналізу сигналів[42]

EFR32FG23A010F256GM48

Основний мікроконтролер пристрою, що відповідає за обробку даних з датчиків, управління світлодіодною індикацією та являється енергоефективним мікроконтроллером, з 4-ма режимами енергоефективності. На рисунку 4.2 зображена структурна схема мікроконтроллера з його внутрішніми блоками.

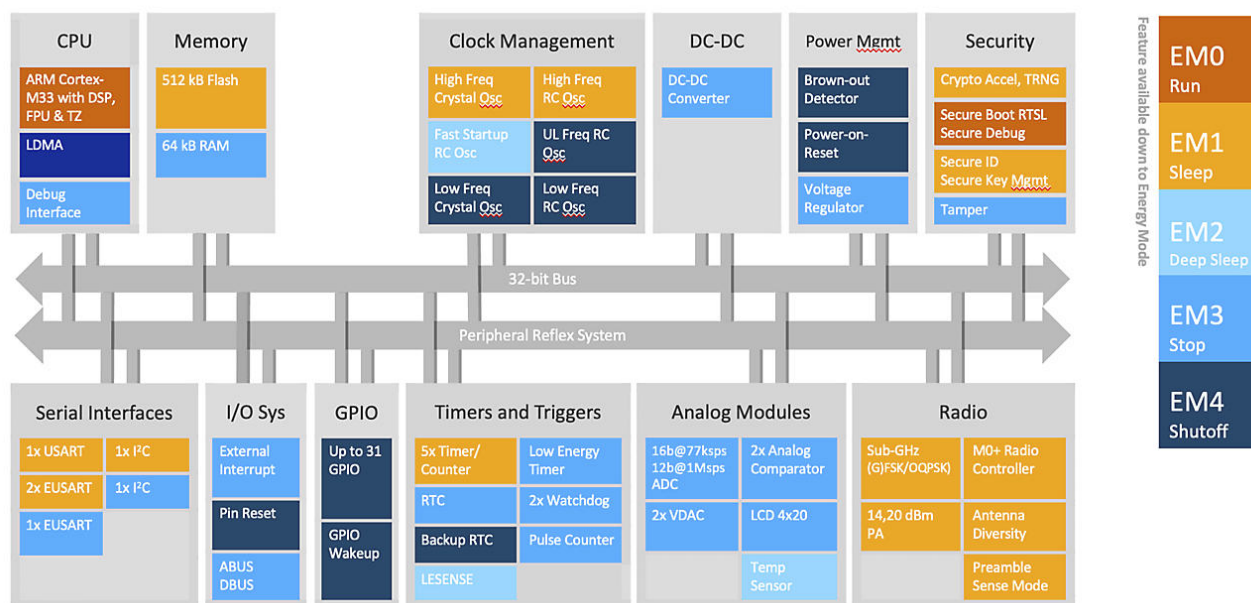


Рисунок 4.2 – Структурна схема мікроконтроллера

Основні характеристики:

- Вбудовані енергоефективні режими з мінімальним споживанням до 1.4 мкА в режимі сну.
- Висока продуктивність завдяки 32-розрядному ядру ARM Cortex-M.
- Вбудована флеш-пам'ять об'ємом 256 КБ
- Підтримка інтерфейсу I2C (що необхідно для роботи з TPS8802DCPR)
- Робоча напруга: 1.8–3.8 В
- Вбудований АЦП
- Радіомодуль передачі даних SubGHz

Переваги:

- Висока енергоефективність, що критично важливо для пристрою на батарейках
- Розширений температурний діапазон роботи (-40°C до $+85^{\circ}\text{C}$)
- Вбудовані периферійні модулі, що спрощують розробку[43]

Терморезистор MF5A-3-3950-473J (47 кОм)

Цей терморезистор (рисунок 4.3) використовується для вимірювання температури, що є важливою ознакою виникнення пожежі. Також завдяки малогабаритному корпусу він являється малоінерційним при вимірі температури, що дозволяє швидко реагувати на її зміну.



Рисунок 4.3 – Терморезистор MF5A-3-3950-473J

Основні характеристики:

- Номінальний опір: 47 кОм при 25°C
- Чутливість: В-коефіцієнт 3950
- Температурний діапазон: -50°C до $+125^{\circ}\text{C}$

Переваги:

- Висока точність вимірювань у широкому діапазоні температур
- Стабільність характеристик упродовж довготривалої експлуатації [44]

SFH 213 – Фотодіод для димової камери

Фотодіод відповідає за прийом розсіяного світла в димовій камері, яке є ознакою наявності частинок диму (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 - Фотодіод SFH 213

Основні характеристики:

- Спектральна чутливість: 750–1100 нм
- Максимальна чутливість: 850 нм
- Час відгуку: менше 20 нс

Переваги:

- Висока чутливість у необхідному спектрі (інфрачервоне випромінювання)
- Швидкий час відгуку, що підвищує точність детектування [45]

OSIBNA5A31A-850 – Інфрачервоний світлодіод для димової камери

Цей світлодіод зображений на рисунку 4.5 є джерелом випромінювання в димовій камері.



Рисунок 4.5 – Інфрачервоний світлодіод OSIBNA5A31A-850

Основні характеристики:

- Довжина хвилі випромінювання: 850 нм
- Напруга прямого зміщення: 1.2–1.6 В
- Робочий струм: до 20 мА

Переваги:

- Висока енергоефективність та стабільність випромінювання
- Мінімальне теплове випромінювання, що знижує вплив на чутливість камери
- Тривалий термін служби (до 50 000 годин).

АТ-2830-TWT-R – Бузер для звукової тривоги

Цей компонент забезпечує гучний звуковий сигнал у разі спрацювання сповіщувача (рисунок 4.6).



Рисунок 4.6 – П'єзо-бузер AT-2830-TWT-R

Основні характеристики:

- Гучність: до 85 дБ при 10 см
- Робоча напруга: 3–15 В
- Частота сигналу: 3 кГц

Переваги:

- Компактний розмір
- Висока гучність, що забезпечує ефективне оповіщення [46]

TGS 5141-P00 – Сенсор CO (чадний газ)

Сенсор відповідає за виявлення підвищеної концентрації чадного газу, що є ознакою пожежі або небезпечного рівня забруднення повітря (рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Сенсор чадного газу (CO)

Основні характеристики:

- Робочий діапазон: 0–1000 ppm
- Чутливість до CO: до 5 ppm
- Час реагування: менше 30 секунд

Переваги:

- Висока точність та чутливість
- Стійкість до інших газів, що підвищує надійність роботи
- Тривалий термін служби (до 10 років) [47]

AA Varta LongLife MAX POWER – Батарея AA

Джерело живлення димового сповіщувача (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Елемент живлення AA

Основні характеристики:

- Номінальна напруга: 1.5 В
- Ємність: до 2850 мА·год.
- Стійкість до тривалого зберігання

Переваги:

- Довгий термін служби при низькому енергоспоживанні пристрою
- Висока якість та стабільність параметрів

Усі ці компоненти забезпечують стабільну та надійну роботу оптико-електронного детектора диму, відповідаючи сучасним стандартам і вимогам. Їх поєднання дозволяє реалізувати багатофункціональний пристрій із високою точністю, енергоефективністю та простотою у використанні.

4.3 Розробка структурної схеми детектора диму

Розробка структурної схеми є ключовим етапом проектування оптико-електронного димового детектора, оскільки вона визначає логіку взаємодії основних компонентів пристрою. Структурна схема зображена на рисунку 4.9 описує компоненти та зв'язки між ними, забезпечуючи зрозумілу концепцію роботи детектора диму.

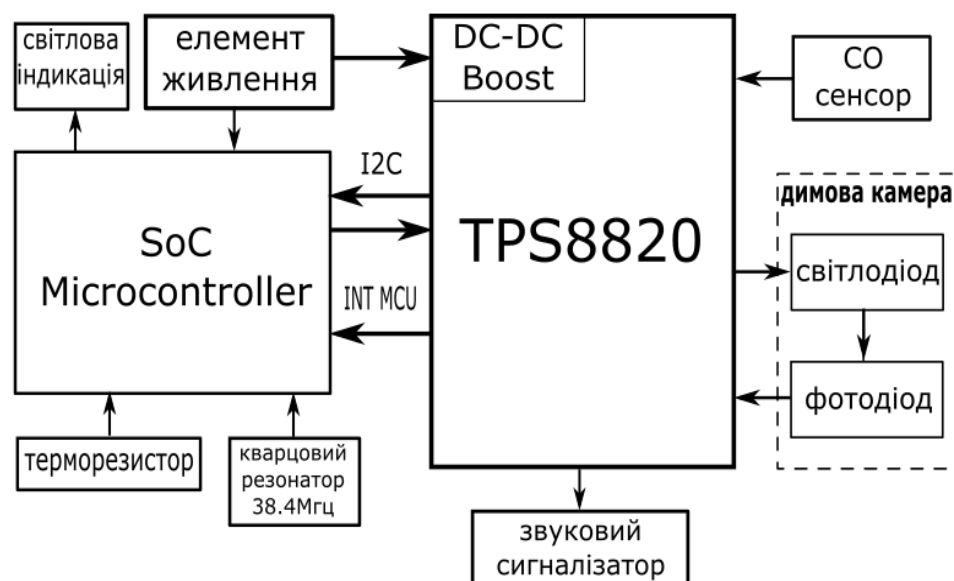


Рисунок 4.9 – Структурна схема детектора диму

Нижче розглянемо детально функціонування та взаємодію основних блоків пристрою.

Мікроконтролерний блок

Центральним елементом структурної схеми є мікроконтролер EFR32FG23A010F256GM48, який відповідає за управління всіма підсистемами детектора. До мікроконтролера підключено кілька важливих компонентів:

1. Кварцовий резонатор.

Для забезпечення стабільної роботи мікроконтролера використовується кварцовий резонатор із частотою 38 МГц. Він генерує тактову частоту, необхідну для коректного функціонування системи. Такий резонатор забезпечує високу точність роботи та мінімізує похибки під час обробки сигналів.

2. Терморезистор MF5A-3-3950-473J.

Терморезистор підключений до мікроконтролера для вимірювання температури навколишнього середовища. Його дані аналізуються для визначення наявності пожежі, особливо якщо інші сенсори не дають достатньо інформації. Терморезистор дозволяє мікроконтролеру реагувати на підвищення температури навіть у відсутності диму.

3. Світлодіодна індикація.

Мікроконтролер керує світлодіодною індикацією для відображення стану пристрою. Світлові сигнали інформують про нормальну роботу, тривогу або низький рівень заряду батареї.

4. Елемент живлення.

Живлення пристрою забезпечується двома батареями типу АА. Вони забезпечують напругу, необхідну для роботи мікроконтролера, а також підключених до нього компонентів.

5. Лінії зв'язку I²C.

Мікроконтролер через інтерфейс I²C взаємодіє з мікросхемою TPS8802DCPR, передаючи та отримуючи дані від підключених до неї сенсорів і виконавчих елементів.

Блок мікросхеми TPS8802DCPR

Мікросхема TPS8802DCPR виконує роль інтерфейсу між димовою камерою, додатковими сенсорами та мікроконтролером. Вона також забезпечує живлення підключених компонентів завдяки вбудованому DC-DC перетворювачу таких як:

1. Димова камера.

Димова камера складається з фотодіода SFH 213 та інфрачервоного світлодіода OSIBNA5A31A-850. Світлодіод випромінює інфрачервоне світло в камеру, а фотодіод реєструє інтенсивність розсіяного світла, яка залежить від концентрації частинок диму. Мікросхема TPS8802DCPR аналізує ці дані та передає їх на мікроконтролер через I²C.

2. Сенсор чадного газу TGS 5141-P00.

Цей сенсор підключений до мікросхеми TPS8802DCPR, яка зчитує дані про концентрацію CO та відправляє їх на обробку мікроконтролеру. Наявність цього сенсора підвищує точність роботи пристрою, оскільки дозволяє реагувати на пожежі без видимого диму.

3. Бузер AT-2830-TWT-R.

Бузер підключений до мікросхеми TPS8802DCPR і використовується для звукового оповіщення про тривогу. Завдяки компактності та високій гучності, цей компонент ідеально підходить для візуального й звукового сигналу тривоги.

Загальна логіка роботи схеми

Мікроконтролер EFR32FG23A010F256GM48 приймає дані з усіх сенсорів і виконавчих елементів через інтерфейс I²C. Отримані дані аналізуються для виявлення ознак пожежі, таких як задимлення, підвищення температури чи

наявність чадного газу. Якщо хоча б один із параметрів перевищує заданий поріг, мікроконтролер активує буюер і світлодіодну індикацію.

Димова камера працює завдяки взаємодії інфрачервоного світлодіода OSIBNA5A31A-850 та фотодіода SFH 213, забезпечуючи високу чутливість до диму. Сенсор чадного газу та терморезистор доповнюють систему, підвищуючи її точність та надійність.

Розроблена структурна схема дозволяє забезпечити багатофункціональність і стабільну роботу пристрою, враховуючи всі технічні вимоги. Завдяки оптимальній взаємодії компонентів досягається висока чутливість, низьке енергоспоживання та мінімальна кількість хибних спрацьовувань.

4.4 Схемотехнічна реалізація основних вузлів

Схемотехнічна реалізація основних вузлів є невід'ємною складовою етапу проектування та розробки. На цьому етапі здійснюється практична реалізація структурної схеми пристрою за допомогою підбору компонентів, розробки електричних з'єднань між ними та забезпечення їх функціональної взаємодії. Основна мета полягає в тому, щоб кожен блок пристрою — від димової камери до мікроконтролера — був оптимально інтегрований у загальну систему.

Розроблена схемотехнічна реалізація має забезпечити:

- стабільну роботу димової камери на основі інфрачервоного світлодіода та фотодіода;
- коректне зчитування даних із сенсора чадного газу (CO) та терморезистора;
- передачу інформації від мікросхем до мікроконтролера через інтерфейс I²C;
- можливість генерації звукових та світлових сигналів тривоги;

- мінімальне енергоспоживання для забезпечення довготривалої автономної роботи пристрою.

На основі структурної схеми було виконано детальний аналіз кожного вузла пристрою, визначено параметри роботи основних компонентів та їхні вимоги до з'єднань. У межах даного підрозділу буде представлено принципові схеми основних вузлів, описано їхні функціональні можливості, технічні характеристики, а також наведено ключові аспекти взаємодії елементів у межах єдиної системи. Схемотехнічна реалізація розроблялася з урахуванням вимог надійності, точності, компактності та енергоефективності, що є критичними для систем протипожежної безпеки. У процесі проєктування враховувалися сучасні тенденції у виробництві датчиків диму, а також рекомендації виробників мікросхем щодо використання елементної бази, дотримання цих вимог забезпечує тривалий та безперебійний термін експлуатації системи.

Першим основним вузлом являється схема живлення яка зображена на рисунку 4.10 та складається з тримачів двох послідовно з'єднаних елементів живлення типу АА, польового транзистора який виконує роль «ідеального діода» неуможливліючи вихід з ладу приладу при перплюсуванні елементів живлення, фільтра живлення на базі керамічних конденсаторів різної ємності та ще одного польового транзистора яким можна комутувати живлення периферійних ланок, наприклад відключаючи зайві споживачі в режимі енергозбереження.

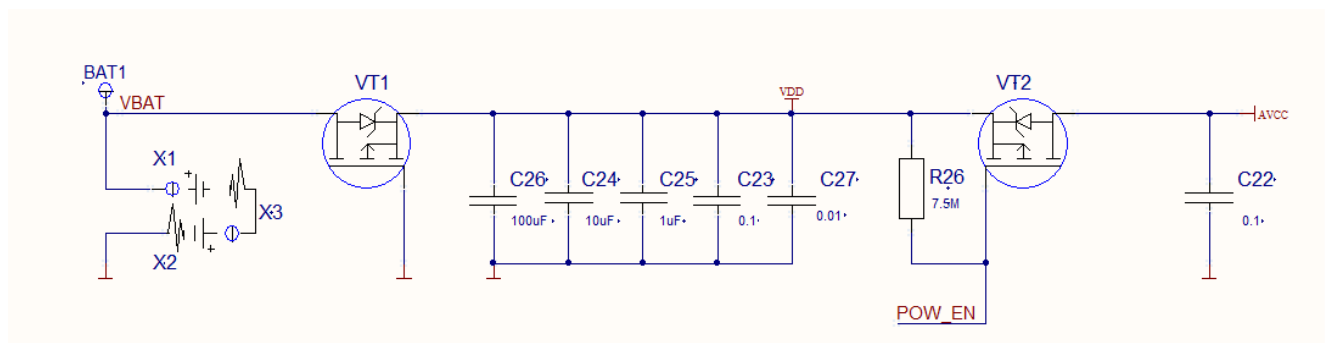


Рисунок 4.10 – Схема комутації та фільтрації живлення

На схемі яка зображена на рисунку 4.11 зображено підключення фільтрів та індуктивностей для забезпечення роботи внутрішніх DC-DC перетворювачів мікросхеми EFR32FG23A010F256GM48, які формують напруги потрібні для роботи мікроконтролера. Потрібні напруги формуються для живлення внутрішніх блоків таких як: АЦП, ядра мікроконтролера, блоку пам'яті.

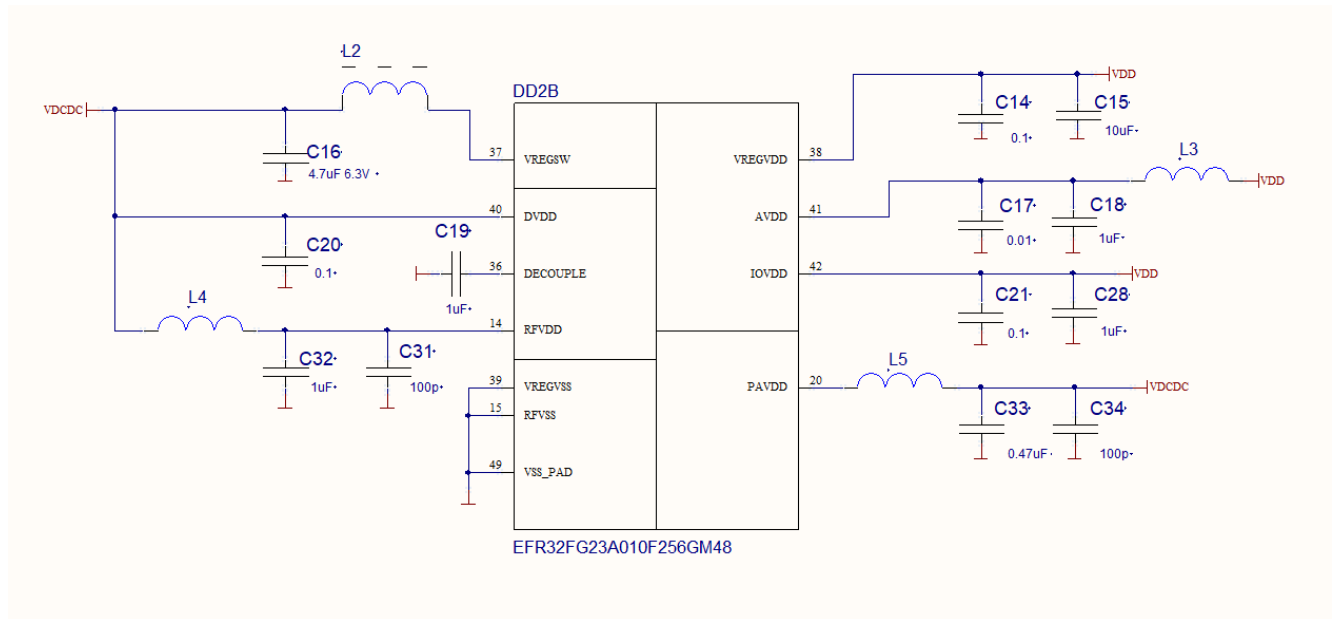


Рисунок 4.11 – Блок фільтрів внутрішніх DC-DC мікроконтролера

На схемі (рисунок 4.12) показано порти мікроконтролера EFR32FG23A010F256GM48 та призначенні зв'язки виводів периферійних пристроїв на портів мікроконтролера. [43]

Схема підключення терморезистора (Рисунок 4.13) також являється важливою так як на терморезистор потрібно подати стабілізовану напругу з можливістю її вимкнення для економії енергії. Вибраний метод підключення живить дільник з терморезистором за рахунок порта GPIO мікроконтролера який можливо вмикати тільки під час виміру температури, що значно економить спожиту енергію.

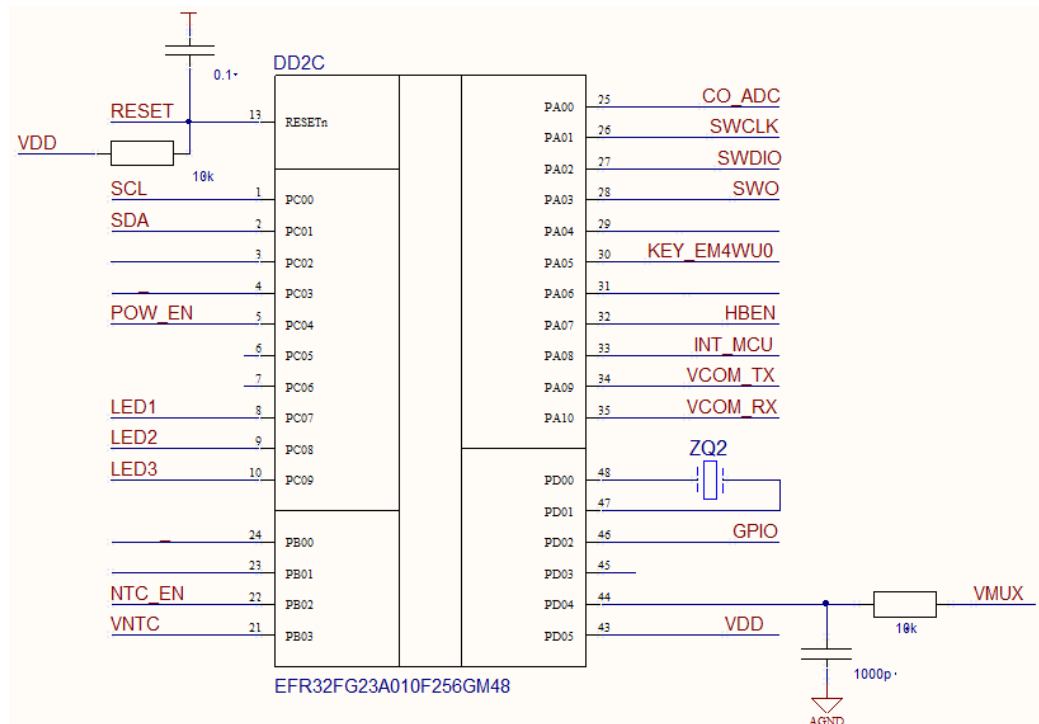


Рисунок 4.12 – Мікроконтроллер з назначеними зв'язками

Схема підключення терморезистора (Рисунок 4.13) також являється важливою так як на терморезистор потрібно подати стабілізовану напругу з можливістю її вимкнення для економії енергії. Вибраний метод підключення живить ділник з терморезистором за рахунок порта GPIO мікроконтроллера який можливо вмикати тільки під час виміру температури, що значно економить спожиту енергію.

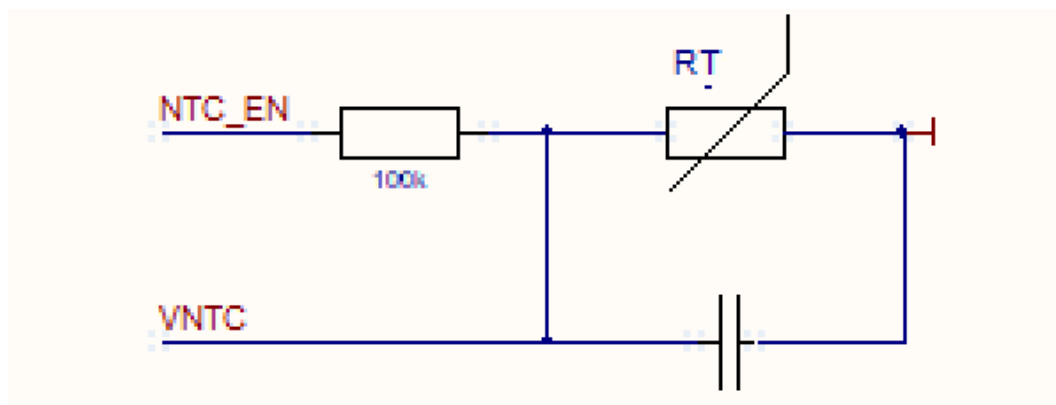


Рисунок 4.13 – Схема підключення терморезистора

На рисунку 4.14 показана схема підключення функціональної кнопки. Кнопка заведена на спеціальний порт мікроконтролера та дозволяє пробуджувати його режиму енергозбереження.

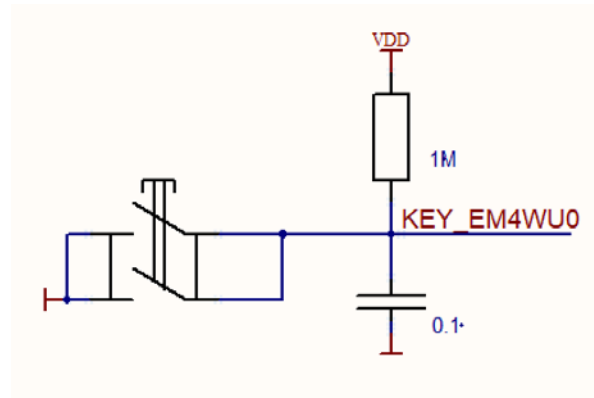


Рисунок 4.14 – Схема підключення функціональної кнопки

Частина схеми підключення бузера (рисунок 4.15) до мікросхеми TPS8802DCPR, вона потребує попереднього налаштування щоб використовувати вибраний бузер максимально ефективно. Налаштування заключається в тому що потрібно підібрати резистор R11 в межах від 0 Ом до 220кОм щов вивести частоту генерації бузера на максимально ефективну частоту звучання (резонансну частоту), підбір виконується експериментально з підключеним обраним п'єзо-бузером, поки не досягнете потрібної резонансної частоти. В даному випадку при використані п'єзозумера АТ-2830-TWT-R опір склав 82кОм що дозволило налаштувати частоту генерації на 3кГц.

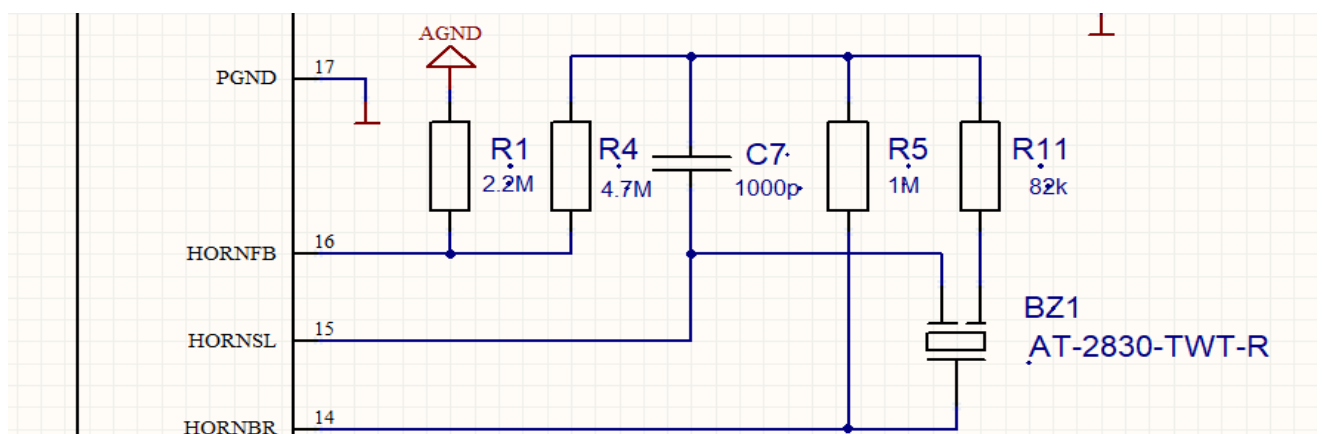


Рисунок 4.15 – Підключення п'єзо-бузера

Схема підключення сенсора чадного газу (рисунок 3.16) також має свою особливість, в разі виконання сповіщувача без використання даного сенсора категорично заборонено залишати виводи CON, COP не підключеними до схемної землі, Тому для можливих модифікацій закладено виконання двох типів сповіщувачів. При виконанні без сенсора CO на місця запайки обв'язки сенсора потрібно встановити резистори з нулевим опором[42].

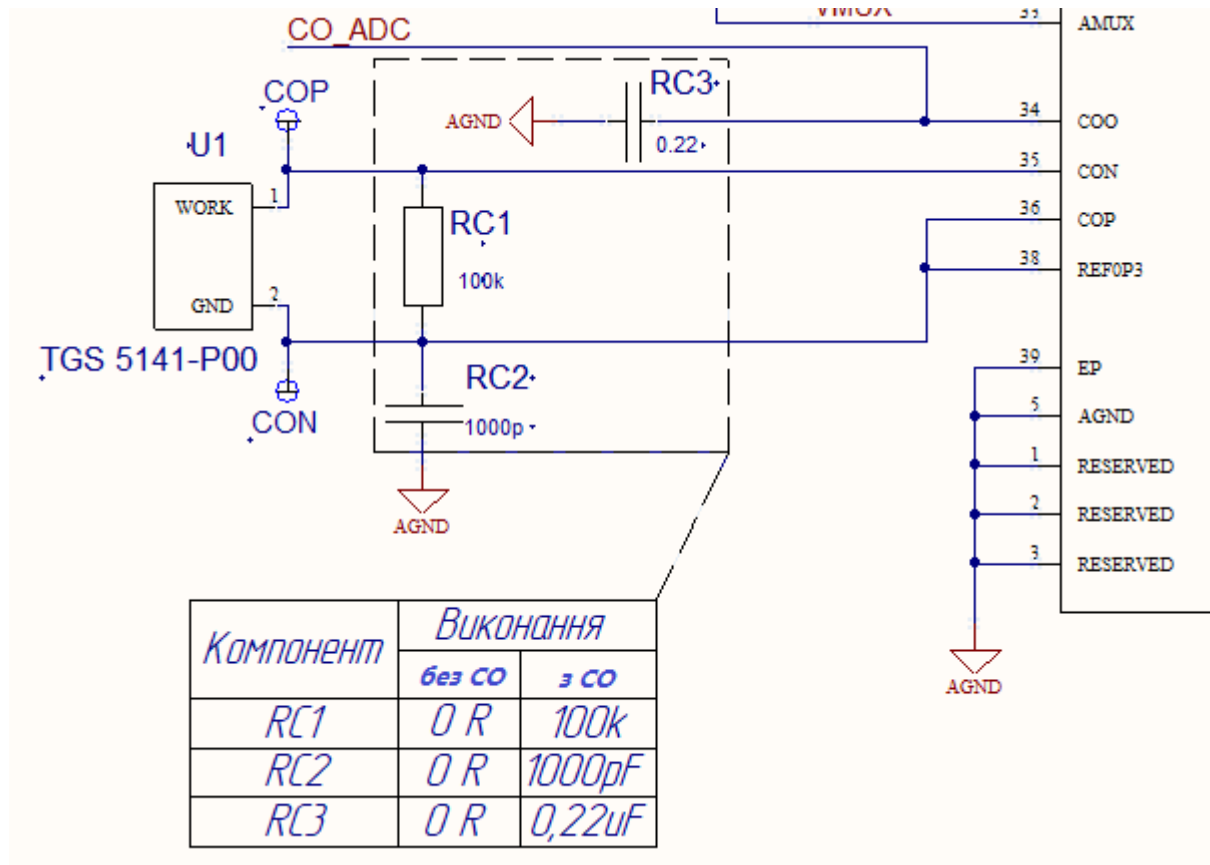


Рисунок 4.15 – Підключення сенсора чадного газу

Загальний вигляд схема підключення TPS8802DCPR має наступний вигляд та зображена на рисунку 4.16.

Вивід GPIO підключається до енергозберігаючого виводу мікроконтролера та пробуджує його в разі попередньо зафіксованих перевищень порогів з димової камери чи сенсора CO мікросхемою TPS8802DCPR, для подальшого аналізу даних та прийняття рішення про формування тривоги [42].

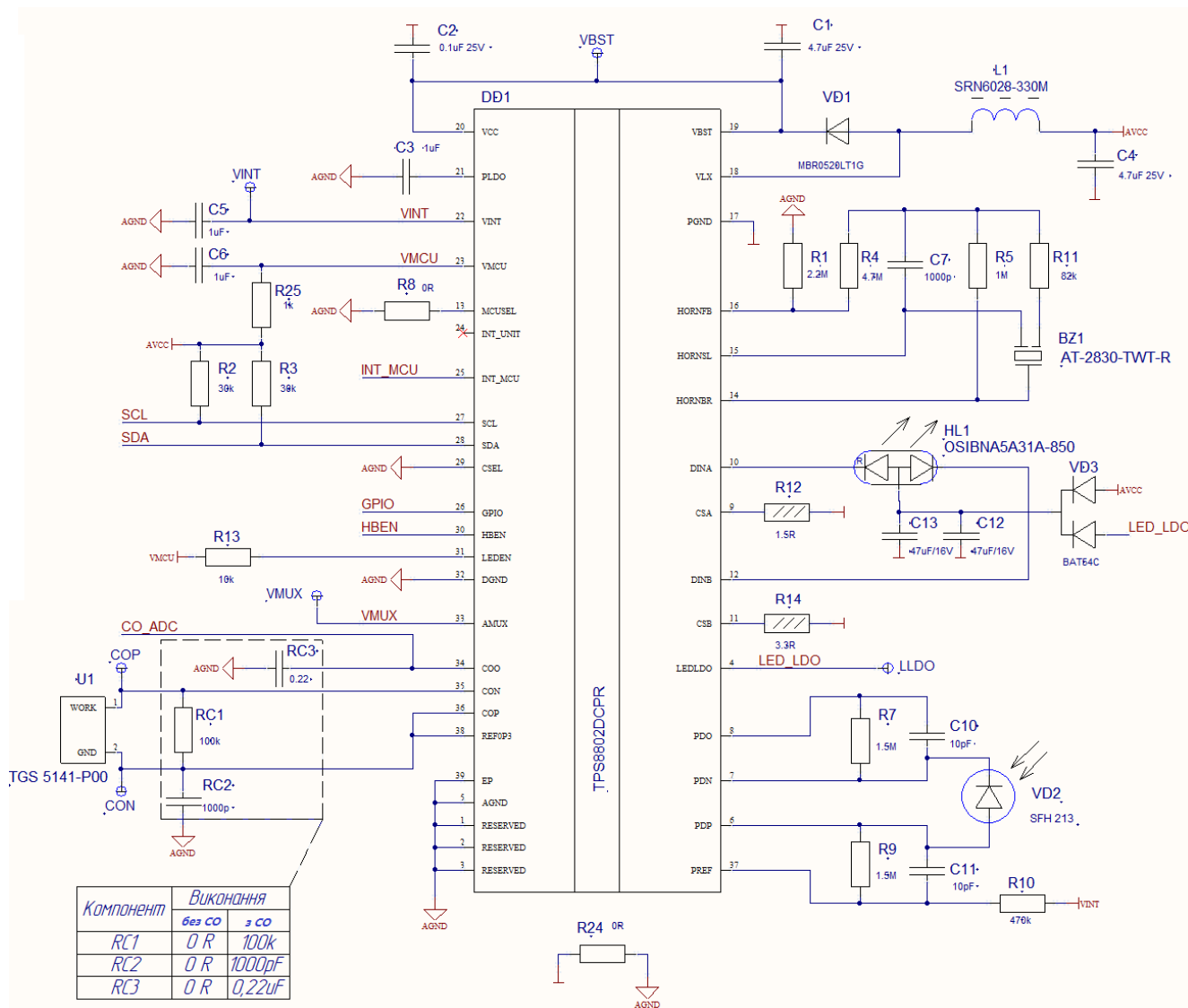


Рисунок 4.16 – Схема підключення TPS8802DCPR

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

5.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання. Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи
виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	60	60	60
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		60,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як принципово нова, тобто робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	70	70	70
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	70,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [48]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.1)$$

де $k_{\text{нов}}, k_{\text{теор}}$ – показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 60,0, k_{\text{теор}} = 70,0$ балів;

$0,6$ та $0,4$ – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 60,0 + 0,4 \cdot 70,00 = 64,00 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі», даний рівень становить 64,00 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_0$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [48]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 18350,00 \cdot 11 / 22 = 8500,03 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1. Керівник проекту	18350,00	772,73	11	8500,03
2. Інженер-дослідник оптоелектронних систем	17650,00	750,00	22	16500,00
3. Консультант (пожежний інспектор 1-ї категорії)	18000,00	681,82	4	2727,28
4. Лаборант	8100,00	368,18	11	4050,00
Всього				31777,31

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [48];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,50 \cdot 1,15 / (22 \cdot 8) = 78,41 \text{ грн.}$$

$$З_{pl} = 78,41 \cdot 8,00 = 627,27 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1. Розміщення обладнання	8,00	4	1,50	78,41	627,27
2. Інсталяція програмного забезпечення	5,10	5	1,70	88,86	453,20
3. Підготовка автоматизованого робочого місця дослідника	4,20	2	1,10	57,50	241,50
4. Встановлення компонентів системи контролю пожежної безпеки	16,00	4	1,50	78,41	1254,55
5. Налаштування режимів роботи	5,20	3	1,35	70,57	366,95
6. Контроль процесу випробування та протікання експерименту	4,20	5	1,70	88,86	373,23
Всього					3316,70

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (5.5)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{доп}} = (31777,31 + 3316,70) \cdot 10 / 100\% = 3509,40 \text{ грн.}$$

5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (5.6)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (31777,31 + 3316,70 + 3509,40) \cdot 22 / 100\% = 8492,75 \text{ грн.}$$

5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{ср}j}, \quad (5.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{vj} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 2,0 \cdot 215,00 \cdot 1,12 - 0 \cdot 0 = 481,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
1. Папір канцелярський офісний	215,00	2,0	0	0	481,60
2. Компакт-диски (CD)	25,00	4,0	0	0	112,00
3. Офісна тека FIX-120	125,00	3,0	0	0	420,00
4. Канцелярські товари (ручки, файли, бокси)	201,00	2,0	0	0	450,24
5. Тонер для принтера	850,00	0,1	0	0	95,20
6. Аерозоль для перевірки димових сповіщувачів Pruefgas 918/5	1000,00	1,0	0	0	1120,00
7. Рідина для димогенератора SFI Fog Light	100,00	1,0	0	0	112,00
8. Гніт бавовняний 5мм	7,50	1,0	0	0	8,40
Всього					2799,44

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_{\epsilon} = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_{\epsilon} = 2 \cdot 612,00 \cdot 1,12 = 1370,88 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Неадресний димовий сповіщувач Tiras DETECTO SMK10	2	612,00	1370,88
Димовий сповіщувач FireProtect 2 (Heat/Smoke) Jeweller	1	3999,00	4478,88
Всього			5849,76

5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (5.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 1189,00 \cdot 1 \cdot 1,12 = 1331,68 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Підсилювач сигналу	1	1189,00	1331,68
Маршрутизатор	1	2800,00	3136,00
Програматор цифровий	1	5820,00	6518,40
Всього			10986,08

5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог},i} \cdot K_i, \quad (5.10)$$

де $C_{\text{прог}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{\text{прог},i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 360,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 396,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Доступ до мережі Internet (високошвидкісний) грн/місяць	1	360,00	396,00
Пакет Visual System Simulator	1	4920,00	5412,00
Пакет Microwave Office	1	3850,00	4235,00
Пакет MATLAB SIMULINK	1	3180,00	3498,00
Всього			13541,00

5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_в} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.11)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_в$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (45599,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1899,96 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі ПК ASUS i5-DJK-0002415	45599,00	2	1	1899,96
Обладнання виводу інформації Лазерний принтер EPSON LaserJet Pro M102w c Wi-Fi (G3Q35A)	6599,00	4	1	137,48
Робоче місце інженера-дослідника спеціалізоване	7845,00	5	1	130,75
Офісна оргтехніка	7899,00	5	1	131,65
Приміщення лабораторії досліджень	643000,00	30	1	1786,11
ОС Windows 11	8380,00	2	1	349,17

Пакет Microsoft Office 2019	7864,00	2	1	327,67
Всього				4762,78

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 10,98$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,23 \cdot 160,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 404,06 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі ПК ASUS i5-DJK-0002415	0,23	160,0	404,06
Обладнання виводу інформації Лазерний принтер EPSON LaserJet Pro M102w c Wi-Fi (G3Q35A)	0,12	9,0	11,86
Робоче місце інженера-дослідника спеціалізоване	0,13	160,0	228,38
Офісна оргтехніка	0,72	3,2	25,30
Програматор цифровий	0,03	4,0	1,32
Всього			670,92

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній

протипожежній системі» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

5.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ig}}{100\%}, \quad (5.13)$$

де H_{ig} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{iv} = 50\%$.

$$I_e = (31777,31 + 3316,70) \cdot 50 / 100\% = 17547,01 \text{ грн.}$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (31777,31 + 3316,70) \cdot 100 / 100\% = 35094,01 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = 3_o + 3_p + 3_{доо} + 3_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (5.15)$$

$$B_{заг} = 31777,31 + 3316,70 + 3509,40 + 8492,75 + 2799,44 + 5849,76 + 10986,08 + 13541,00 + 4762,78 + 670,92 + 0,00 + 0,00 + 17547,01 + 35094,01 = 138347,17 \text{ грн.}$$

Загальні витрати $3B$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$3B = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (5.16)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,95$.

$$3B = 138347,17 / 0,95 = 145628,60 \text{ грн.}$$

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним

процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_P рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_P = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.17)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 3$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C = 2$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 145628,60$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [48].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = \frac{3^3 \cdot 2 \cdot 4}{145,6 \cdot 0,08} = 17,80.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5.4 Висновки

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» складають 145628,60 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.[48]

ВИСНОВКИ

В ході розробки магістерської кваліфікаційної роботи розширено функціональні можливості оптико-електронного детектора диму шляхом оптимізації методів обробки сигналів та інтеграції даних з різних сенсорів у протипожежній системі. У процесі аналізу оптико-електронних детекторів диму з мікропроцесорною обробкою було встановлено, що використання сучасних технологій значно підвищує ефективність виявлення загроз. Перш за все, впровадження мікропроцесорної обробки даних дозволяє здійснювати точний аналіз інформації, отриманої від різних датчиків, що працюють у складних умовах, але пропозицій на ринку дуже мало.

У другому розділі розроблено математичну модель для обробки сигналів, яка поєднує фільтрацію та інтеграцію даних із різних сенсорів. Такий підхід дозволяє підвищити точність ідентифікації димових частинок, зменшити вплив зовнішніх завад, а також забезпечити коректну обробку сигналів від температурного датчика та сенсора чадного газу. Розроблена модель використовує методи адаптивної фільтрації для придушення шумів і математичної інтеграції для аналізу довготривалих змін показників, що забезпечує стабільну роботу пристрою в реальних умовах експлуатації.

У третьому розділі проведено моделювання роботи оптико-електронного детектора диму, зокрема змодельовано димову камеру, яка базується на принципі розсіювання світла. Виконано аналіз впливу характеристик димових частинок на точність роботи системи та проведено оцінку ефективності алгоритмів фільтрації сигналів. У ході моделювання визначено ключові параметри, що впливають на чутливість і надійність детектора, а також протестовано реакцію системи на різні концентрації диму. Результати моделювання підтвердили, що обрані параметри дозволяють досягти високої точності виявлення пожежі навіть за умов значних зовнішніх перешкод.

У четвертому розділі виконано розробку оптико-електронного детектора диму, починаючи з формування технічних вимог до пристрою та завершуючи його схемотехнічним рішенням. Обрано оптимальну елементну базу, яка

включає енергоефективний мікроконтролер, димову камеру на базі інфрачервоного світлодіода та фотодіода, а також додаткові сенсори чадного газу й температури. Розроблена структурна схема забезпечує стабільну роботу системи та мінімізує ймовірність хибних тривог завдяки використанню сучасних алгоритмів обробки сигналів. Особливу увагу приділено енергоефективності, що дозволило забезпечити роботу пристрою від батарейок типу АА.

У п'ятому розділі проведено економічний аналіз проєкту, та пораховано витрати на проведення науково-дослідної роботи. Було підтверджено економічну доцільність проведення наукових робіт, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем. А витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі» складають 145628,60 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. Статистичні дані про пожежі в Україні за 2023 рік. Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua> (дата звернення 10.12.2024)
2. Міжнародної науково-практичної Інтернет конференції 20-21 листопада 2024 р. – Суми/Вінниця: НІКО / КЗВО «Вінницька академія безперервної освіти», 2024. – 218 с.
3. Андрієнко, О. В. Оптико-електронні сенсори в системах виявлення пожеж. — Харків: Техніка безпеки, 2020.
4. Коваленко, В. П. Принципи роботи пожежних детекторів. — Київ: Видавничий дім «Освіта», 2019.
5. Мельник, І. О. Технології виявлення диму в оптико-електронних системах. — Львів: Наукові записки НТШ, 2021.
6. Петров, С. М. Системи автоматичного виявлення диму. — Київ: НТУУ "КПІ", 2019.
7. Петров В. "Оптичні технології в системах виявлення пожеж". Науковий журнал "Технічні інновації", 2022.
8. Датчик диму на основі ADPD188BI фірми Analog Devices. Режим доступу: <https://oxorona.com/adpd188bi/> (дата звернення 10.12.2024)
9. Сергієнко, Л. М. Методи виявлення диму в пожежних системах. — Полтава: ПУЕТ, 2020
10. Кузнецов, І. П. Димові детектори: принципи роботи та застосування. — Львів: ЛНУ, 2021.
11. Сидоренко, П. М. Принципи роботи та конструкція сучасних детекторів диму. — Київ: НТУУ "КПІ", 2021.
12. Ткаченко, О. В. Мікропроцесорні технології в системах протипожежного захисту. — Полтава: ПНТУ, 2023.
13. Шевченко, Г. О. Системи раннього виявлення пожеж: новітні технології. — Одеса: ОНПУ, 2020.

14. Андрієнко, С. І. Протипожежні системи: оптичні та іонізаційні детектори. — Харків: ХНУРЕ, 2019.
15. Громов, В. П. Автоматизація протипожежних систем з використанням оптико-електронних детекторів. — Київ: НАН України, 2021.
16. Захаров, І. О. Протипожежні системи на базі оптико-електронних детекторів. — Чернігів: ЧНТУ, 2020.
17. Долгополова, І. Пожежна безпека у сучасних промислових об'єктах. — Харків: ХПІ, 2021.
18. Коваль, М. С. Екологічні аспекти використання пожежних детекторів. — К.: НТУУ «КПІ», 2023.
19. Степанов, О. В. Оптико-електронні системи: теорія та практика. — Харків: ХНУРЕ, 2018. [5]
20. Сидоренко, І. Ю. (2022). Сучасні технології в системах виявлення диму: порівняльний аналіз. — Львів: ЛНУ.
21. Кравченко, Ю. О. (2021). Ефективність використання нових матеріалів у системах виявлення диму. Технічні науки та технології, 27(2), 102-108.
22. Коваль, М. С. (2023). Системи виявлення диму на основі штучного інтелекту. — К.: НТУУ «КПІ».
23. Хмельницький, О. В. (2021). Мультисенсорні системи виявлення: переваги та недоліки. Пожежна безпека та технічні науки, 5(1), 56-67.
24. Іванченко, Л. В. (2022). Інтернет речей у системах пожежної безпеки. — Дніпро: ДНУ.
25. Ляшенко, Р. М. (2020). Тенденції в розробці енергоефективних детекторів диму. — Полтава: ПНТУ.
26. Островський, А. П. (2023). Наноматеріали в детекторах диму: переваги та перспективи. — Київ: НАН України.
27. Петров, О.В. "Сучасні системи виявлення пожеж". — Харків: Техніка безпеки, 2018. — 230 с.

- 28.Іваненко, М.В. "Оптичні детектори диму: принципи роботи і застосування". – Київ: Наукова думка, 2019. – 160 с.
- 29.Васильєв, А.М. "Цифрові системи пожежної безпеки". – Одеса: ОНУ, 2020. – 190 с.
- 30.Ковальчук, Ю.О. "Мікропроцесорна техніка в протипожежних системах". – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 215 с.
- 31.Савченко, П.А. "Технології інтеграції систем пожежної безпеки". – Львів: ЛП, 2019. – 185 с.
- 32.Іваненко, О. В. Оптико-електронні системи детектування диму. Київ: Видавництво НАУКИ, 2020.
- 33.Петров, С. М., & Сидоренко, Л. І. Методи обробки сигналів у протипожежних системах. Харків: ХНУРЕ, 2019.
- 34.Василенко, А. П. Сучасні протипожежні системи: технології та перспективи розвитку. Львів: Видавництво Львівського національного університету, 2021.
- 35.Сидорова, Т. Ю., & Коваленко, І. В. Інтеграція сенсорних даних у протипожежних системах. Дніпро: Дніпровський державний університет, 2022.
- 36.Назаренко, В. Н. Аналіз методів детектування диму та їх застосування. Київ: ВНТУ, 2023.
- 37.Smith, J., & Brown, L. Optoelectronic Smoke Detectors: Principles and Applications. Journal of Fire Safety, 2021.
- 38.Lee, K., & Kim, S. Integrated Smoke Detection Systems with Temperature and CO Sensors. International Journal of Fire Protection, 2022.
- 39.AW Tech. Офіційний сайт виробника. *Димові тунелі серії 3000*. [Онлайн-ресурс].
- 40.Smith J., Johnson P. *Advanced Calibration Techniques for Smoke Detectors*. – New York: TechSensors Press, 2020.
- 41.Wang L., et al. *Testing and Optimization of Optical Smoke Detectors in Controlled Conditions*. – IEEE Sensors Journal, 2023.

42. Мікросхема TPS8802 Режим доступу:

<https://www.ti.com/product/TPS8802/part-details/TPS8802DCPR> (дата звернення 10.12.2024)

43. Мікросхема efr32fg23a010f256gm48 Режим доступу:

<https://www.silabs.com/wireless/proprietary/efr32fg23-sub-ghz-wireless-soc/device.EFR32FG23A010F256GM48?tab=specs> (дата звернення 10.12.2024)

44. Терморезистор Режим доступу: [https://biakom.com/store/7425-](https://biakom.com/store/7425-termorezistori/58620-mf5a-3-473j3950g)

[termorezistori/58620-mf5a-3-473j3950g](https://biakom.com/store/7425-termorezistori/58620-mf5a-3-473j3950g) (дата звернення 10.12.2024)

45. Фотодіод Режим доступу: [https://ams-](https://ams-osram.com/products/photodetectors/photodiodes/osram-radial-t1-34-sfh-213)

[osram.com/products/photodetectors/photodiodes/osram-radial-t1-34-sfh-213](https://ams-osram.com/products/photodetectors/photodiodes/osram-radial-t1-34-sfh-213) (дата звернення 10.12.2024)

46. П'єзовипромінювач Режим доступу:

<https://www.digikey.com/en/products/detail/pui-audio-inc/AT-2830-TWT-R/1464844> (дата звернення 10.12.2024)

47. Сенсор CO Режим доступу:

https://www.figaro.co.jp/en/product/docs/tgs5141p00_product%20infomation%28en%29_rev05.pdf (дата звернення 10.12.2024)

48. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМІОЕС

доц., к.т.н. Л.Г. Коваль

« 12 » 09 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі»

08-41.МКР.011.00.000 ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доцент

каф. БМІОЕС

Кожем'яко А.В.

Студент

групи

ЛТО-23м

Федоришин О.О.

1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 Актуальність теми магістерської роботи обумовлена зростаючою потребою в ефективних цифрових рішеннях для пожежної охорони. У цьому контексті важливо підкреслити, що в Україні ще недостатньо впроваджуються новітні технології в системи протипожежної безпеки. Багато об'єктів все ще використовують застарілі методи, що не відповідають сучасним вимогам. Тому мета даної роботи також полягає у пошуку шляхів оптимізації і модернізації системи виявлення диму через інтеграцію мікропроцесорних технологій у оптико-електронні детектори. Актуальність теми полягає в необхідності створення нових протипожежних систем які будуть використовувати сучасні технології, нові більш складні алгоритми обробки і виявлення пожеж для забезпечення високого рівня пожежної безпеки з мінімізацією хибних спрацювань. Таким чином, тема роботи відповідає сучасним тенденціям і є вагомим внеском у цифрову трансформацію пожежної охорони.

1.2 Наказ про затвердження теми МКР №310 від 17.09.2024 р.

2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи полягає у розширенні функціональних можливостей оптико-електронного детектора диму шляхом оптимізації методів обробки сигналів та інтеграції даних з різних сенсорів у протипожежній системі, що дозволить виявляти пожежу від різних джерел, а також зменшення випадків помилкових спрацювань.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі задачі:

- проаналізувати існуючі типи оптико-електронних детекторів диму та методи їх використання в протипожежних системах;
- удосконалити методи детектування диму за допомогою адаптивних алгоритмів і фільтрації сигналів;
- розробити структурну та функціональну схеми оптоелектронного датчика;
- виконати моделювання роботи системи для оцінки її ефективності;
- підібрати сучасні апаратні компоненти для реалізації системи та забезпечення її надійності.

2.2 Призначення розробки – полягає в автоматизації та оптимізації на основі запропонованих методів та теоретичних положень розроблено протипожежний оптико-електронний детектор диму, впроваджено алгоритми автокалібрування порогових значень та додаткова інтеграція і обробка даних з інших сенсорів, розроблена схема димового сповіщувача на сучасній елементній базі.

3 Джерела розробки МКР

1. Коваленко, В. П. Принципи роботи пожежних детекторів. — Київ: Видавничий дім «Освіта», 2019.

2. Мельник, І. О. Технології виявлення диму в оптико-електронних системах. — Львів: Наукові записки НТШ, 2021.
3. Петров, С. М. Системи автоматичного виявлення диму. — Київ: НТУУ "КПІ", 2019.
4. Петров В. "Оптичні технології в системах виявлення пожеж". Науковий журнал "Технічні інновації", 2022.
5. Датчик диму на основі ADPD188BI фірми Analog Devices Режим доступу: <https://oxorona.com/adpd188bi/> (дата звернення 10.12.2024)
6. Сергієнко, Л. М. Методи виявлення диму в пожежних системах. — Полтава: ПУЕТ, 2020
7. Кузнецов, І. П. Димові детектори: принципи роботи та застосування. — Львів: ЛНУ, 2021.

4 Вимоги до виконання МКР

Головна вимога — розробка ефективної, масштабованої та зручної у використанні оптико-електронної системи протипожежної системи, яка забезпечує автоматизацію. Система повинна відповідати сучасним технологічним стандартам та мати інтегровані механізми, комбінований пожежний сповіщувач, оптико-електронна димова камера, адаптивний алгоритм виявлення пожежі, кількість сенсорів виявлення пожежі не менше 2х, енергоефективний димовий сповіщувач, закрита димова камера, живлення від доступних елементів живлення .

5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в таблиці А.1

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Розробка погодження та затвердження технічного завдання	17.09.2024	20.09.2024	Розроблене ТЗ
2	Аналіз оптико-електронних детекторів диму та їх застосування в протипожежних системах	20.09.2024	10.10.2024	Розділ 1

3	Математична модель алгоритмів мікропроцесорної обробки сигналів в оптико-електронних детекторах диму.	10.10.2024	23.10.2024	Розділ 2
4	Моделювання оптико-електронного детектору диму.	23.10.2024	09.11.2024	Розділ 3
5	Розробка оптико-електронного детектору диму	09.11.2024	20.11.2024	Розділ 4
6	Розробка економічного обґрунтованості	20.11.2024	29.11.2024	Розділ 5
7	Підготовка МКР до публічного захисту	01.12.2024	10.12.2024	МКР

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

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

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

ГОСТ 2.104-2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт.

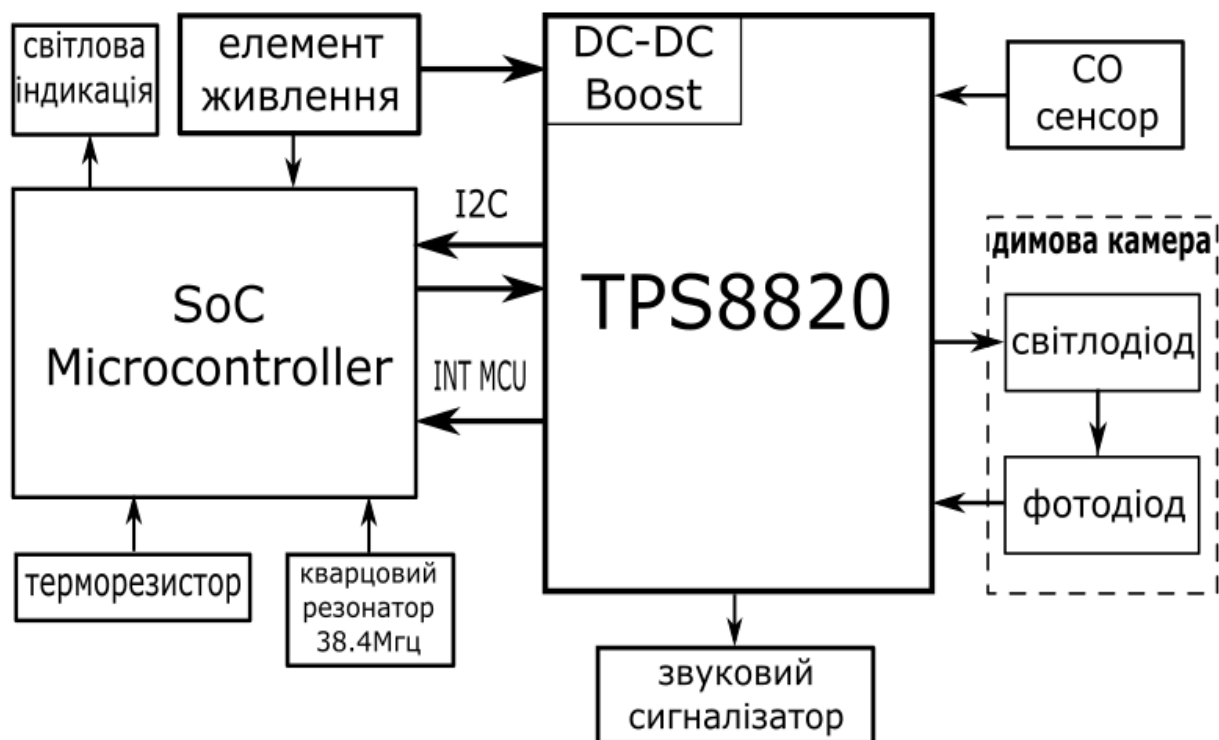
документи на які посилаються у вище вказаних.

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

8.3 У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її публічного захисту не передбачаються.

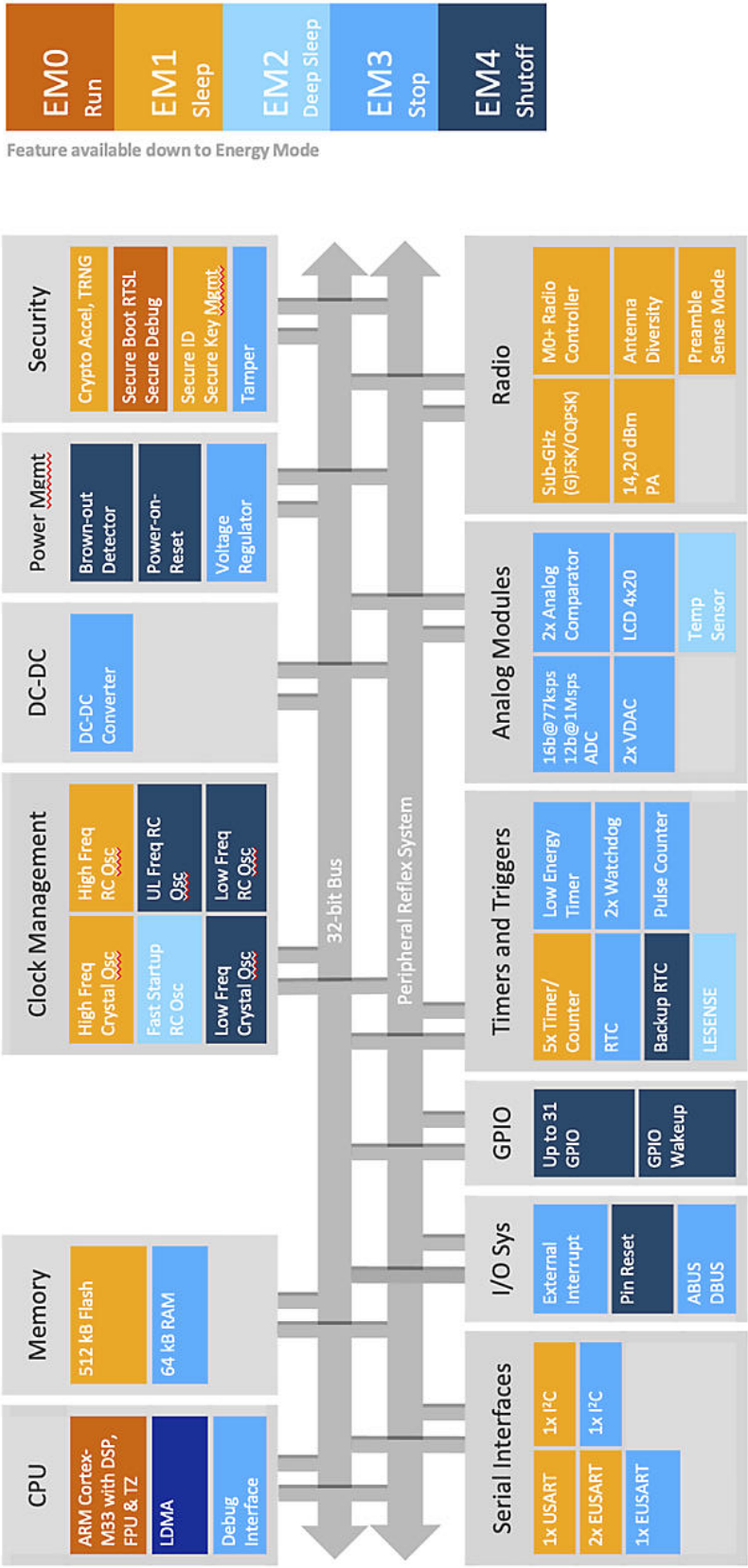
ДОДАТОК Б

Структурна схема



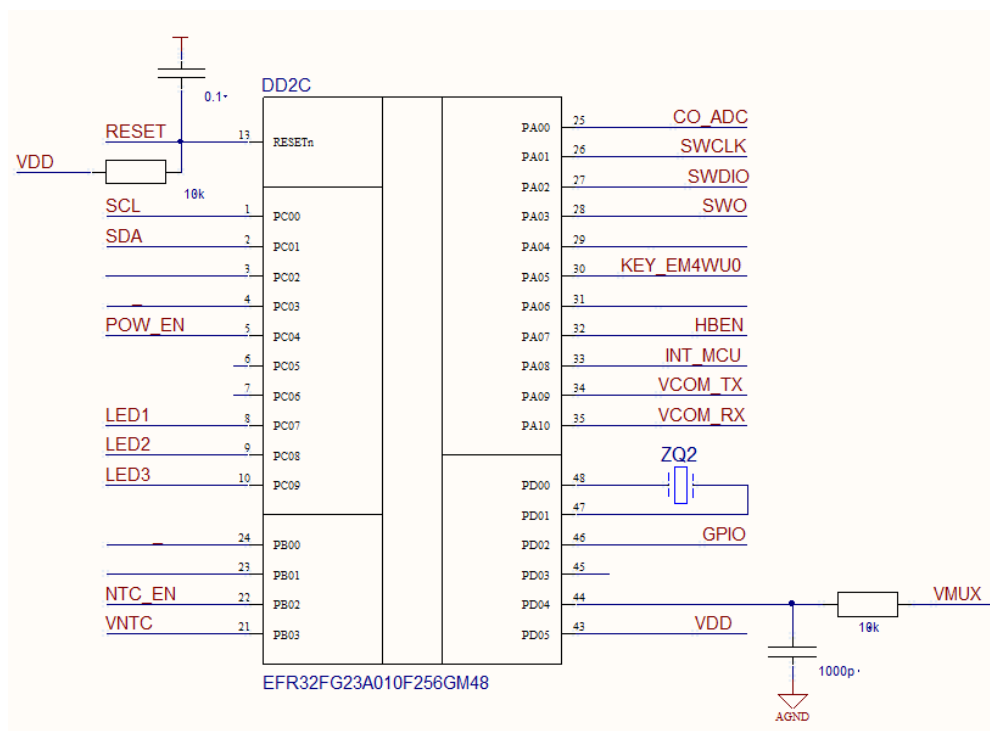
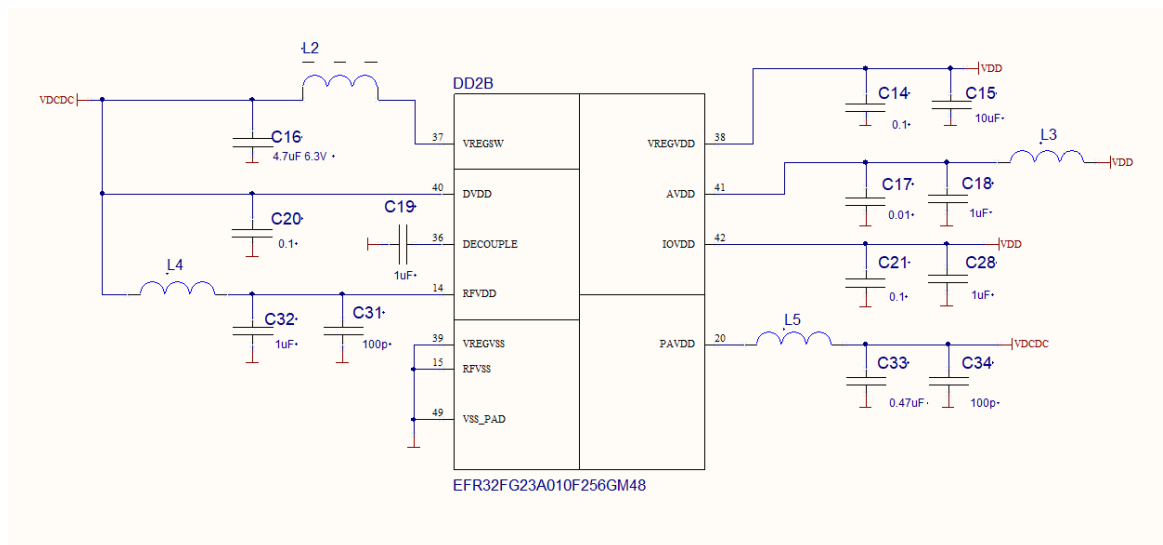
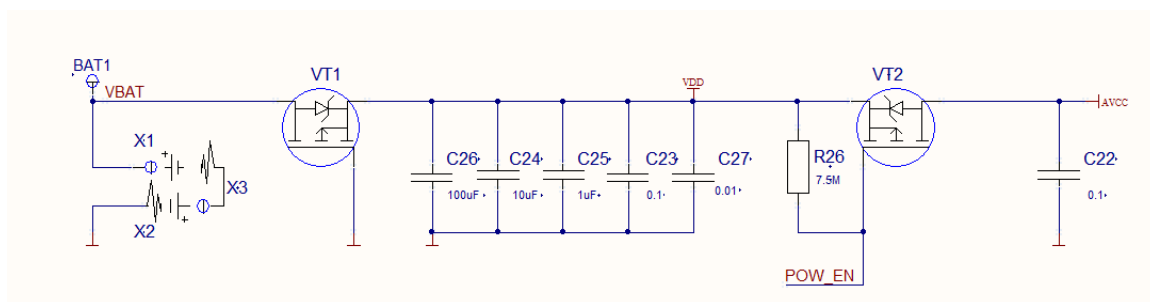
ДОДАТОК В

Структурна схема внутрішніх блоків мікроконтролера
efr32fg23a010f256gm48



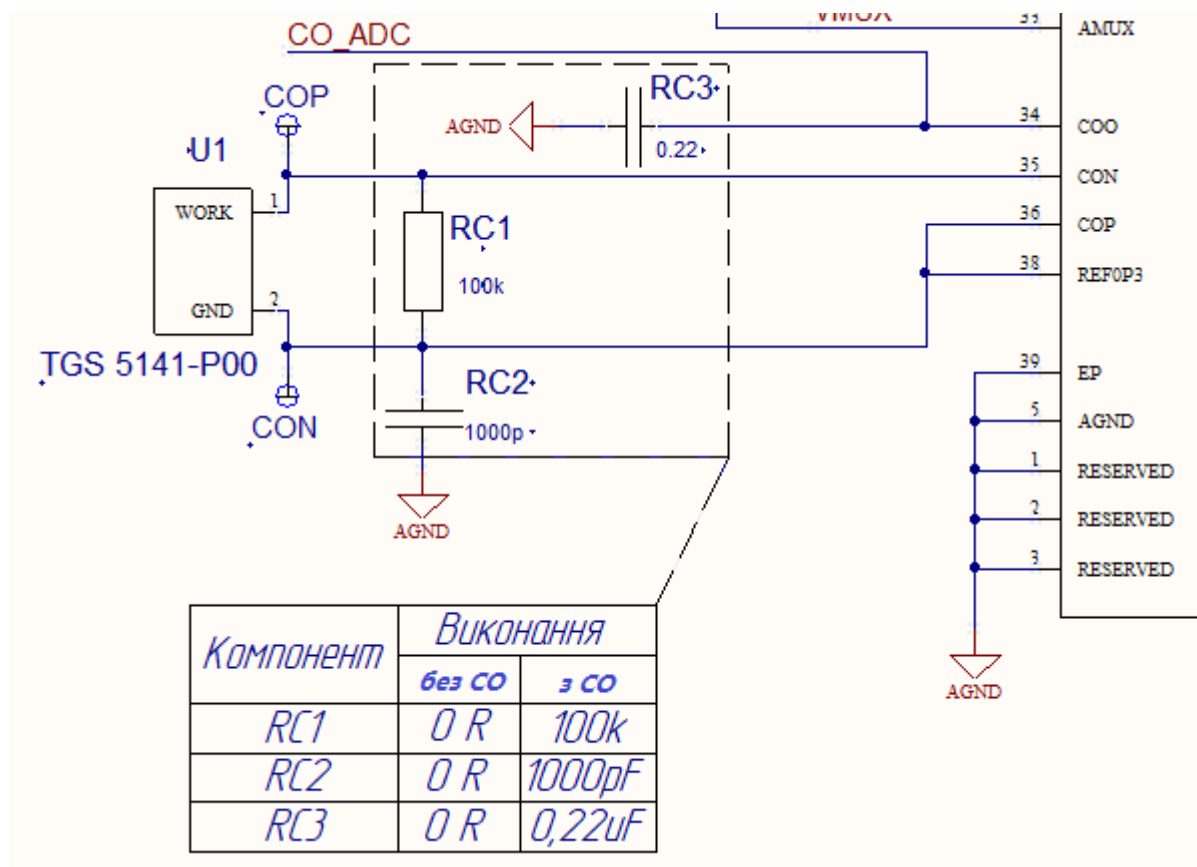
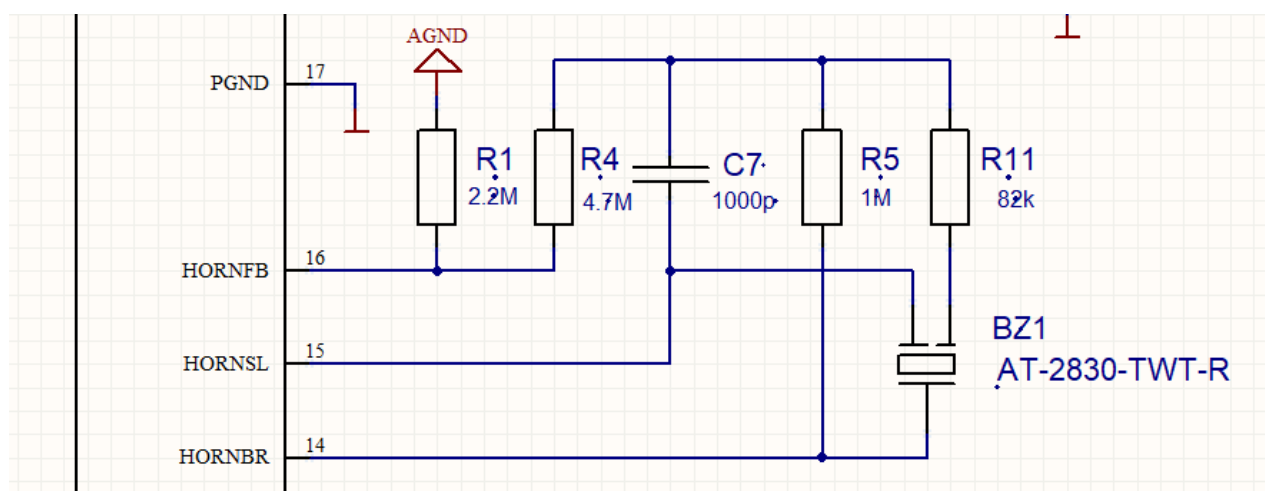
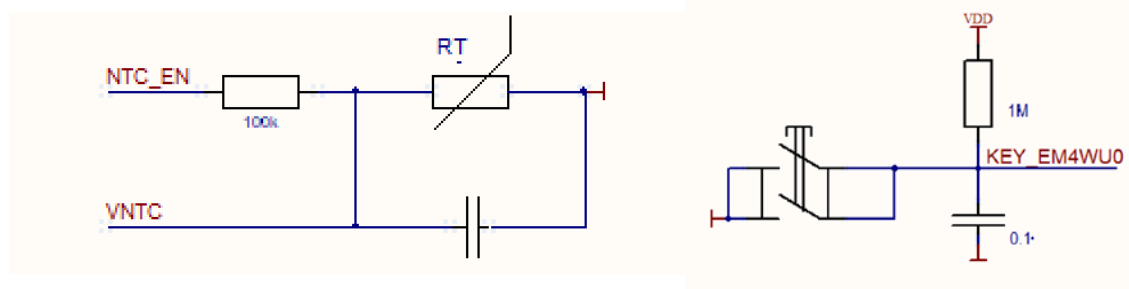
ДОДАТОК Г

Функціональні схеми мікроконтроллера



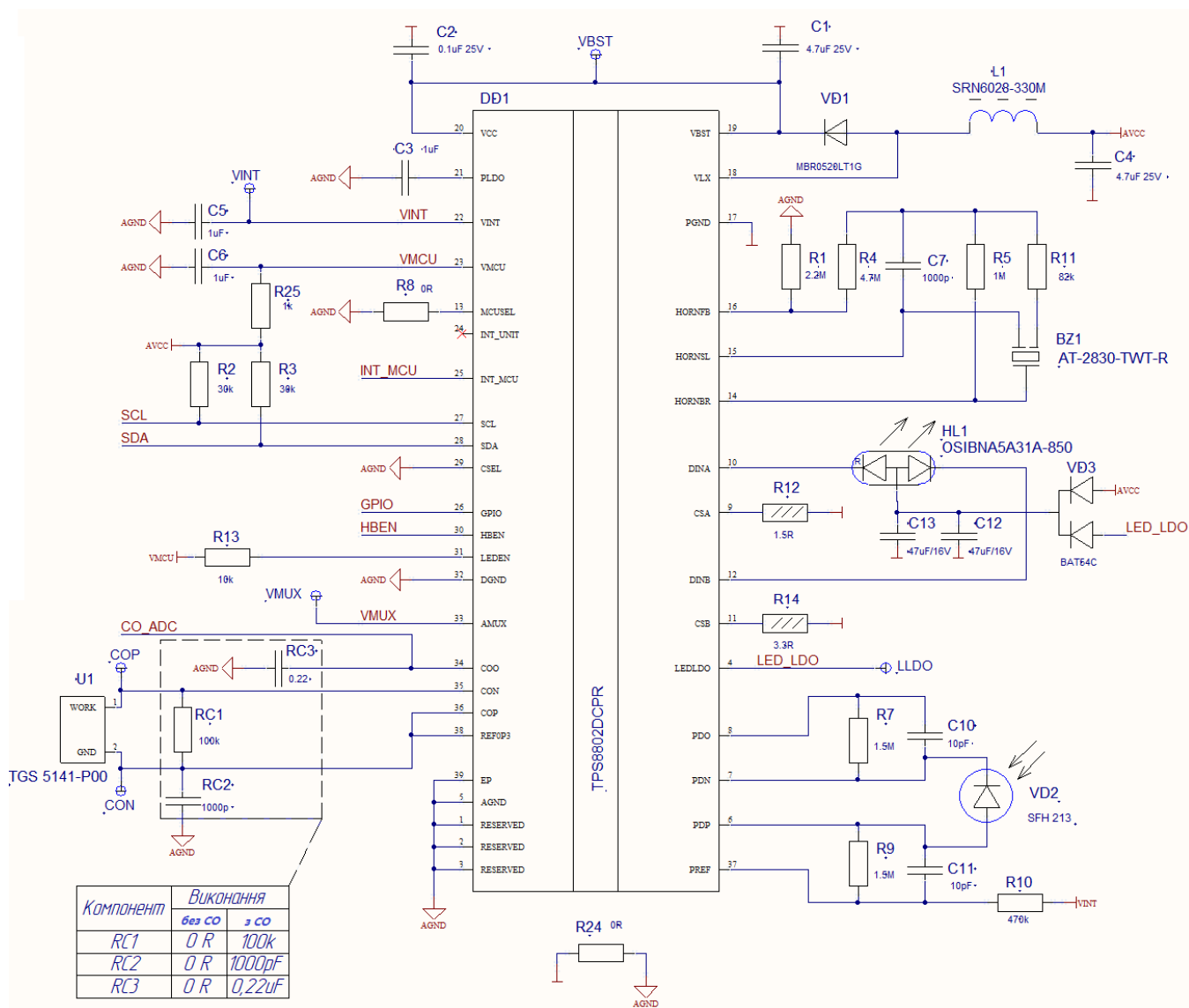
ДОДАТОК І

Функціональні схеми периферійних блоків



ДОДАТОК Д

Функціональна схема TPS8802DCPR



ДОДАТОК Е

Алгоритм роботи



ДОДАТОК Є

Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи

Назва роботи: Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі

Автор роботи: Федоришин Олексій Олександрович

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки БМІОЕС

Керівник Кожем'яко Андрій Вікторович к.т.н., доц. каф. БМІОЕС

Показники звіту подібності

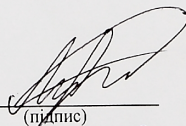
Turnitin	
Оригінальність	97 %
Загальна схожість	3 %

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☒ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

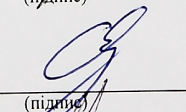
Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований Системою щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

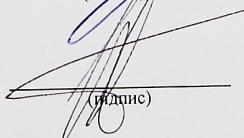
Федоришин О.О.
(прізвище, ініціали)

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Тужанський С.Є.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Кожем'яко А.В.
(прізвище, ініціали)

ДОДАТОК Ж

Акт впровадження

ТОВ «Тірас-12»

21021, Україна

Вінницький р-н, Вінницька обл., місто Вінниця

пров. Хмельницького шосе 2, буд. 8

АКТ

ВПРОВАДЖЕННЯ

Цим актом підтверджується, що окремі результати магістерської кваліфікаційної роботи на тему: «Оптико-електронний детектор диму з мікропроцесорною обробкою в багатоканальній протипожежній системі», яку виконав студент групи ЛТО-23м Федоришин Олексій за спеціальністю 175 «Інформаційно-вимірювальні технології», впроваджені в діяльність ТОВ «Тірас-12». Цей документ не є підставою для фінансових розрахунків.

Дата 16.12.2024

Начальник відділу розробки пожежних приладів Іван КОСАКОВСЬКИЙ

