

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

## КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЕКТ

бакалавр  
освітній рівень

«Інтелектуальний сенсор задимлення»  
на тему

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»  
шифр і назва

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»  
шифр і назва

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні технології»  
шифр і назва

КТПР.022079.01.08

Виконував  
здобувач 4го курсу, група ТР2-22-1

  
підпис

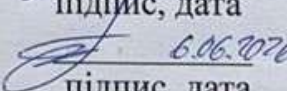
О.О. Михальчук  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
підпис, дата

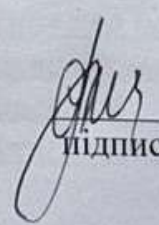
О.С. Пивовар  
Ініціали, прізвище

Нормконтроль

  
підпис, дата

О.С. Пивовар  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав.Кафедри телекомунікацій  
медійних та інтелектуальних  
технологій

  
підпис

С.К. Підченко  
Ініціали, прізвище

« 6 » червня 2026

Хмельницький 2026

**Хмельницький національний університет**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 17 «Електроніка та телекомунікації»

Шифр і назва

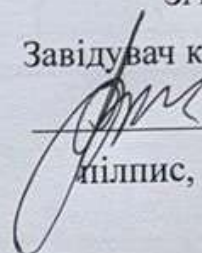
Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Шифр і назва

Освітня програма «Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМІТ

 24.01.2026р

Підпис, дата

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ**

**Михальчуку Олексію Олександровичу**

1. Тема проєкту «Інтелектуальний сенсор задимлення»

керівник проєкту Пивовар Олег Сергійович к.т.н. доцент. \_\_\_\_\_,  
затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом проєкту на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до проєкту: Пристрій повинен мати п'єзоелектричний випромінювач звуку для повідомлення про пожежу.

У гаджеті має бути можливість повідомлення користувача про можливу пожежу за допомогою мережі Інтернет

Для користувача повинна бути можливість замінити живлення пристрою.

У разі помилкового спрацювання для користувача має бути можливість функції відміни сповіщення та відправка повідомлення про помилкове спрацювання за допомогою мережі Інтернет.

Пристрій повинен живитися від двох акумуляторів з сумарною напругою не менше 5 В та не більше 15 В.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Аналіз технічного завдання. 2. Проектування схем. 3. Конструкційний та програмний розділ

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових кресленників, плакатів, презентацій тощо)

1. Схема електронної структурної 2. Схема електрична принципова пристрою із переліком елементів. 3. Демонстраційні плакати та технічні рисунки

6. Консультанти розділів проекту<sup>1\*</sup>

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
|        |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 25.01.2026 р

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання дипломного проекту  | Термін виконання етапів проекту | Примітка |
|-------|--|---------------------------------|----------|
| 1     | Розробити технічне завдання та провести його аналіз                                    | 25.01.2026                      | Виконано |
| 2     | Розглянути існуючі аналоги пристрою і розробити структурну схему пристрою              | 20.02.2026                      | Виконано |
| 3     | Розробити схему електричну принципову і обрати компонентну базу пристрою               | 15.03.2026                      | Виконано |
| 5     | Написати програмне забезпечення для web-арі серверу та програмованих компонентів плати | 28.04.2026                      | Виконано |
| 7     | Графічна частина   | 05.05.2026                      | Виконано |
| 8     | Подання проекту  | 30.05.2026                      | Виконано |

Студент

Керівник



О.О Михальчук

О.С. Пивовар

25.01.2026 р

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

| № рядка | Формат | Позначення           | Назва                        | Кільк. | прим. |
|---------|--------|----------------------|------------------------------|--------|-------|
| 1       |        |                      |                              |        |       |
| 2       |        |                      | <u>Текстова частина</u>      |        |       |
| 3       |        |                      |                              |        |       |
| 4       |        | КТПР.022079.01.08 ПЗ | Пояснювальна записка         |        |       |
| 5       |        |                      |                              |        |       |
| 6       |        | КТПР.022079.01.08 ПЕ | Перелік елементів            |        |       |
| 7       |        |                      |                              |        |       |
| 8       |        |                      | <u>Документація графічна</u> |        |       |
| 9       |        |                      |                              |        |       |
| 10      |        | КТПР.022079.01.08 ЕЗ | Електрична принципова схема  |        |       |
| 11      |        |                      |                              |        |       |
| 12      |        | КТПР.022079.01.08 Е1 | Структурна схема             |        |       |
| 13      |        |                      |                              |        |       |
| 14      |        |                      |                              |        |       |
| 15      |        |                      |                              |        |       |
| 17      |        |                      |                              |        |       |

КТПР.022079.01.08

| ЗМ        | Лист | № докум   | підп.   | дата  |
|-----------|------|---|---|---|
| Розроб    |      | Михальчук   |  | 06.06.20  |
| Перевірів |      | Пивовар   |  | 06.06.20  |
| Н.контр   |      |  |  | 06.06.20  |
| Затв      |      | Томченко  |  |  |

Інтелектуальний  
сенсор задимлення  
відомість проекту

| Літр. | АДК.УЩ |    |
|-------|--------|----|
| Н     | 1      | ББ |

Хмельницький  
національний  
університет

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційного проекту:

«Інтелектуальний сенсор задимлення».

Автор роботи: Михальчук Олексій Олександрович

. Керівник роботи: канд. техн., доц. Пивовар Олег Сергійович.

Пояснювальна записка: 66 сторінок, 39 рисунків, 10 таблиць

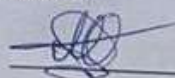
КЛЮЧОВІ СЛОВА: IoT, інтернет речей, дим, детектор, мікроконтролер, бездротові технології, пожежа

Метою кваліфікаційного проекту є розробка комплексу конструкторсько-технологічної документації на індивідуальний сенсор задимлення з оформленням відповідних схем і креслень, дослідження методів виявлення диму в повітрі, аналіз похибок вимірювання концентрації продуктів горіння та визначення вимог до апаратного й програмного забезпечення пристрою за умови мінімізації витрат і підвищення надійності його роботи.

Проект присвячений розгляду структурної та схемотехнічної побудови індивідуального сенсора задимлення, призначеного для раннього виявлення ознак пожежі у житлових і виробничих приміщеннях. Запропоновано використання концепції Інтернету речей та бездротових технологій зв'язку для оперативного сповіщення користувача про небезпечний рівень задимлення. Розроблено алгоритми моніторингу стану повітря та передачі повідомлень на мобільні пристрої. Створено конструкторську документацію структурної та електричної схем сенсора задимлення. Проведено електричні, технічні та метрологічні розрахунки для підтвердження працездатності, точності та ефективності прийнятих схемотехнічних рішень.

О.О. Михальчук

Ініціали, прізвище здобувача



підпис, дата

## ABSTRACT

The theme of the qualification project:

"Intelligent smoke detector".

Written by Mykhalchuk Oleksii Oleksandrovykh

Academic advisor: Pyvivar Oleg Serhiyovych PhD, Associate Professor

. Explanatory note: 66 pages , 39 figures , 10 tables.

**KEYWORDS:** IoT, Internet of Things, smoke, detector, microcontroller, wireless technologies, fire

The method of the qualification project is the development of a set of design and technological documentation on an individual instrument for the task of designing debugging schemes and chairs, researching methods of ego manifestation in behavior, analysis of complex modeling. the concentration of combustion products and their importance for the hardware and software of the extension to minimize costs and increase the reliability of its operation.

The project devoted to consideration of the structural and schematic construction of an individual smoke sensor intended for the early manifestation of fire signs in residential and virtual premises. The use of the concept of Internet of Things operations and wireless communication technologies is provided for operational provision of uninterrupted work in real time. Algorithms for monitoring the state of wagons and moving them on mobile devices have been developed. The design documentation for the structural and electrical diagrams of the sensor was created retroactively. Electrical, technical and metrological calculations were carried out to confirm the reliability, accuracy and efficiency of the adopted schematic solutions.

**Oleksii Mykhalchuk**

Name



Sing, date

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| Перелік скорочень   | 6  |
| Вступ   | 7  |
| 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РОЗРОБКИ                                   | 10 |
| 1.1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ  | 10 |
| 1.2 Огляд аналогів  | 12 |
| 2 Проектування схем   | 20 |
| 2.1 Проектування структурної схеми  | 20 |
| 2.2 Компонети структурної схеми   | 21 |
| 2.3 Проектування схеми електричної принципової                            | 24 |
| 2.4 Компоненти схеми електричної принципової                              | 25 |
| 3 КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ  | 36 |
| 3.1 Бібліотека компонентів для AD   | 36 |
| 3.2 Вибір матеріалу та технології виготовлення плати                      | 43 |
| 3.3 Розрахунки площі друкованої плати та її компонентів                   | 45 |
| 3.4 Програмне забезпечення  | 54 |
| 3.5 Основний алгоритм роботи пристрою                                     | 58 |
| 3.6 Структура та алгоритм роботи програмного забезпечення web арі серверу | 59 |
| 3.7 Програмна симуляція   | 61 |
| Висновки  | 63 |
| Перелік джерел посилань   | 64 |

|                                      |       |                    |  |                    |
|--------------------------------------|-------|--------------------|--|--------------------|
| КТПР.022079.01.08 ПЗ                 |       |                    |  |                    |
| Вип                                  | Аркуш | № докум.           | Підпис   | Дата               |
| Розробив                             |       | Михальчук          |   | 6.06.26            |
| Перевірів                            |       | Пивовар            |   | 6.06.26            |
| Н. контр. затв.                      |       | Стецюк<br>Підченко | <br> | 6.06.26<br>6.06.26 |
| Інтелектуальний<br>сенсор задимлення |       |                    | Літера   | Аркуш              |
|                                      |       |                    | I  | 65                 |
| пояснювальна записка                 |       |                    | ХНУ, ФІТ   |                    |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БЖ - Блок живлення

ДП – Друкована плата

САПР — Система автоматизованого проектування і розрахунку

ТЗ – Технічне завдання

AD — Altium Designer

HTTP — Hypertext Transfer Protocol

IoT — Internet of Things

SMD — Surface Mounted Device

UART — Universal Asynchronous Receiver-Transmitter

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 6   |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

## ВСТУП

З кожним роком роль мережі Інтернет у повсякденному житті людини суттєво зростає, охоплюючи дедалі більше сфер діяльності. Паралельно з Ацим активно розвиваються сучасні технології, безпосередньо пов'язані з використанням мережевих ресурсів, що відкриває нові можливості для автоматизації, моніторингу та підвищення рівня безпеки.

Однією з найважливіших проблем сучасного суспільства залишається забезпечення пожежної безпеки, особливо в умовах великих міст і мегаполісів із високою щільністю населення. У таких середовищах навіть незначне загоряння може швидко перерости у масштабну пожежу з серйозними матеріальними збитками та загрозою для життя людей. Саме тому своєчасне виявлення ознак пожежі та оперативне інформування про небезпеку є критично важливими.

Сучасні досягнення у сфері інформаційних технологій дозволяють створювати інтелектуальні системи та пристрої, здатні автоматично відслідковувати стан навколишнього середовища. У межах даної роботи запропоновано розумний пристрій для виявлення диму, який функціонує на основі спеціалізованого сенсора. Такий сенсор постійно аналізує склад повітря та фіксує наявність димових частинок, що можуть свідчити про початок загоряння.

Підставою для розробки цього пристрою стала відсутність у більшості існуючих аналогів розширених функцій сповіщення користувача. Зокрема, багато традиційних систем обмежуються лише локальними сигналами тривоги, не забезпечуючи віддаленого інформування. Запропоноване рішення усуває цей недолік шляхом впровадження можливості надсилання повідомлень електронною поштою, а також через спеціалізованого бота в популярному месенджері Telegram, розробленому компанією Telegram Messenger Inc.. Станом на момент виконання дипломного проєкту цей

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 7   |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

сервіс активно набирає популярність серед користувачів в Україні завдяки своїй зручності, швидкодії та високому рівню конфіденційності.

Розроблений гаджет дозволяє оперативно виявляти потенційні ознаки пожежі на ранніх стадіях її виникнення. Це, у свою чергу, дає змогу своєчасно вжити необхідних заходів для ліквідації небезпеки, що сприяє зменшенню матеріальних втрат і запобіганню людським жертвам. Важливою особливістю пристрою є використання концепції Інтернету речей (IoT), яка забезпечує можливість підключення до мережі та взаємодії з іншими цифровими системами.

Завдяки підтримці бездротових технологій, зокрема мереж Wi-Fi, пристрій легко інтегрується у сучасні житлові та офісні приміщення без необхідності складного монтажу. Це робить його зручним у використанні та доступним для широкого кола користувачів, а також підвищує ефективність систем пожежної безпеки загалом.

Основною метою дипломного проєкту є розробка інтелектуального сенсора задимлення на основі технологій Інтернету речей, здатного здійснювати безперервний моніторинг стану повітря, своєчасно виявляти ознаки задимлення та оперативно сповіщати користувача про потенційну пожежну небезпеку за допомогою сучасних засобів зв'язку. Реалізація проєкту спрямована на підвищення рівня пожежної безпеки приміщень, зменшення ризику виникнення надзвичайних ситуацій та забезпечення можливості віддаленого контролю за станом об'єкта в режимі реального часу.

1. Провести аналіз сучасних засобів виявлення задимлення та систем пожежної сигналізації, визначити їх переваги, недоліки та можливості інтеграції з технологіями Інтернету речей.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 8   |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

2. Розробити апаратну частину інтелектуального сенсора задимлення, обґрунтувати вибір мікроконтролера, датчика диму та засобів бездротового зв'язку для забезпечення надійної роботи пристрою.

3. Створити програмне забезпечення для обробки даних із сенсора, реалізувати механізми віддаленого моніторингу та автоматичного надсилання повідомлень користувачам через електронну пошту і Telegram.

4. Провести тестування та оцінку працездатності розробленого пристрою, визначити ефективність його функціонування в умовах виявлення задимлення та можливості практичного застосування.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 9   |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

# 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ РОЗРОБКИ

## 1.1 Аналіз технічного завдання

Для забезпечення компактності конструкції та зменшення габаритних розмірів друкованої плати доцільним є використання SMD-компонентів, які монтуються безпосередньо на поверхню плати. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити площу монтажу, підвищити надійність електронного пристрою та спростити процес серійного виробництва.

Оскільки розроблюваний інтелектуальний сенсор задимлення повинен забезпечувати підключення до бездротової мережі Wi-Fi, здійснювати моніторинг рівня задимлення та передавати сповіщення користувачам у режимі реального часу, основою системи доцільно обрати сучасний мікроконтролер із вбудованим модулем бездротового зв'язку. Використання такого рішення дозволяє зменшити кількість зовнішніх компонентів, спростити схему пристрою та знизити його собівартість.

Для налаштування параметрів роботи та оновлення програмного забезпечення необхідно передбачити можливість програмування мікроконтролера через інтерфейс USB. З цією метою на друкованій платі слід реалізувати USB-UART перетворювач, який забезпечить зручне підключення пристрою до персонального комп'ютера. Крім того, користувачу може бути надане готове програмне забезпечення або вебінтерфейс налаштування, у якому достатньо вказати назву бездротової мережі та пароль доступу для підключення сенсора до локальної мережі.

До складу апаратної частини пристрою повинні входити датчик диму, звуковий п'єзоелектричний випромінювач для локального сповіщення про небезпеку та кнопка скидання або підтвердження хибного спрацювання. У

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 10  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

випадку використання мікроконтролера без вбудованого аналого-цифрового перетворювача необхідно додатково передбачити зовнішній АЦП для коректного зчитування сигналів із сенсора. Отримані дані обробляються мікроконтролером, який виконує аналіз поточного стану навколишнього середовища та приймає рішення щодо формування тривожного повідомлення.

Живлення пристрою передбачається реалізувати за допомогою двох літій-іонних акумуляторів із номінальною напругою 3,7 В, що забезпечують необхідний рівень енергопостачання всіх електронних компонентів. Для спрощення обслуговування та заміни елементів живлення на друкованій платі необхідно передбачити спеціальний тримач акумуляторів. Таке рішення дозволяє швидко виконувати технічне обслуговування пристрою без використання додаткових інструментів.

Система віддаленого оповіщення користувача базується на використанні web-API сервера. У процесі роботи мікроконтролер постійно контролює показники датчика диму, а у разі перевищення встановленого порогового значення формує та надсилає HTTP POST-запит на сервер. Після отримання відповідного запиту сервер автоматично генерує повідомлення та надсилає його користувачеві через електронну пошту або Telegram-бота. Одночасно з передачею повідомлення активується локальна звукова сигналізація, що дозволяє оперативно попередити людей, які перебувають поблизу пристрою.

Для забезпечення механічного захисту електронних компонентів необхідно розробити спеціальний корпус, який складатиметься з верхньої та нижньої частин. Конструкція корпусу повинна містити вентиляційні отвори, що забезпечують вільне надходження повітря до датчика диму та не перешкоджають його коректній роботі. Як матеріал корпусу доцільно використовувати поліамід або інший термостійкий пластик, придатний для виготовлення методом 3D-друку. Застосування адитивних технологій

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 11  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

виробництва дозволяє швидко створювати прототипи, вносити зміни до конструкції на етапі проектування та мінімізувати кількість виробничих відходів.

## 1.2 ОГЛЯД АНАЛОГІВ

У сучасних умовах на ринку представлено широкий асортимент сенсорів задимленості, які застосовуються в системах пожежної сигналізації. Такі пристрої можуть відрізнятися між собою за принципом дії, конструктивними особливостями, функціональними можливостями та способом живлення. Залежно від фізичного принципу виявлення диму, сенсори поділяються на оптичні (оптико-електронні), іонізаційні та аспіраційні. За типом живлення виділяють дротові та автономні пристрої.

Оптичні сенсори є найбільш поширеним типом пристроїв для виявлення задимлення. Їх принцип роботи базується на використанні інфрачервоного випромінювання для реєстрації наявності частинок диму в повітрі. Завдяки простоті конструкції, високій надійності та відносно низькій вартості вони отримали широке застосування в побутових та промислових системах пожежної безпеки.

Залежно від конструктивного виконання, оптичні сенсори поділяються на точкові та лінійні.

Точкові оптичні сенсори працюють за принципом розсіювання інфрачервоного випромінювання. В основі їх роботи лежить різниця у відбивній здатності чистого повітря та повітря, насиченого продуктами горіння.

Світлодіод малої потужності випромінює інфрачервоне світло у внутрішню камеру сенсора. Під кутом приблизно 90° до напрямку

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 12  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

випромінювання розташований фотоприймач. За відсутності диму світло не потрапляє на фотодатчик, і пристрій перебуває у стані спокою. У разі появи диму частинки відбивають інфрачервоне випромінювання, яке потрапляє на фотоприймач, що призводить до формування сигналу тривоги.

Точкові сенсори ефективно виявляють світлий дим, характерний для тління на ранніх стадіях пожежі. Водночас вони менш чутливі до темного диму, який частково поглинає інфрачервоне випромінювання.

Лінійні оптичні сенсори складаються з двох основних блоків — передавача та приймача, які розташовуються на одній оптичній осі в зоні прямої видимості. У деяких випадках використовується відбивач, розташований на протилежній поверхні, що дозволяє реалізувати спрощену конфігурацію пристрою.

Принцип роботи таких сенсорів полягає у вимірюванні ступеня ослаблення світлового потоку між джерелом випромінювання та фотоприймачем унаслідок наявності частинок диму в повітрі. Завдяки цьому лінійні сенсори здатні ефективно виявляти як світлий, так і темний дим. Недоліком даного типу пристроїв є більш висока вартість у порівнянні з точковими сенсорами.

Принцип дії іонізаційних сенсорів базується на реєстрації змін іонізаційного струму, що виникають під впливом продуктів горіння. Такі пристрої зазвичай застосовуються у приміщеннях із низькою присутністю людей, оскільки їх експлуатація пов'язана з використанням радіоактивних елементів або складних технічних рішень.

Іонізаційні сенсори поділяються на електроіндукційні та радіоізотопні.

Принцип роботи базується на заборі аерозольних частинок, їх зарядженні в іонізаційній камері та подальшому вимірюванні електричного сигналу,

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 13  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

пропорційного концентрації частинок. Система обробляє отриманий сигнал та формує тривожне повідомлення у разі перевищення порогових значень.

Радіоізотопні сенсори працюють на основі іонізаційної камери з джерелом  $\alpha$ -випромінювання. У нормальних умовах у камері підтримується стабільний іонізаційний струм. При потраплянні диму відбувається зниження цього струму, що використовується як сигнал тривоги.

Аспіраційні сенсори здійснюють активний забір повітря з приміщення з подальшим аналізом його складу на наявність частинок диму. Вони характеризуються високою чутливістю та здатністю виявляти загоряння на ранніх стадіях, ще до появи відкритого полум'я.

Основним недоліком таких пристроїв є висока вартість, тому вони застосовуються переважно на об'єктах із високою матеріальною цінністю (музеї, архіви, серверні приміщення тощо).

Автономні сенсори задимлення містять усі необхідні компоненти для виявлення пожежі та локального оповіщення в одному корпусі. Вони зазвичай оснащуються вбудованим джерелом живлення та звуковою сигналізацією.

До переваг автономних пристроїв належать простота монтажу, незалежність від зовнішніх систем живлення, мобільність та низька вартість експлуатації. Недоліком є можливість хибних спрацювань через пил, комах або інші зовнішні фактори.

Перший пристрій розроблений українською компанією Ajax Systems і має такі характеристики [1] :

- окрім датчика диму, оснащений додатковим сенсором для контролю підвищення температури в приміщенні;

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 14  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

- підтримує як автономну роботу, так і взаємодію зі спеціальним хабом, який необхідно придбати окремо;
- рівень гучності сирени досягає 85 дБ;
- передбачено систему фільтрації хибних спрацювань;
- наявне резервне джерело живлення;
- реалізовано захист від підміни пристрою;
- передбачене сповіщення про спроби глушіння сигналу;
- оснащений тампером для контролю відкривання та відривання;
- заявлений термін експлуатації становить 10 років;
- ціна 2599 грн.

Зовнішній вигляд пристрою представлений на рис. 1



Рисунок 1 — Зображення Ajax FireProtect з офіційного сайту

Також є ще один приклад пристрою виробником якого є Кури 10 це фінська компанія Jalo Helsinki.[2]

- оснащений оптичним (фотоелектричним) датчиком диму для виявлення задимлення;

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 15  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

- працює як автономний пожежний сповіщувач без підключення до Wi-Fi;
- має вбудовану сирену з рівнем гучності приблизно до 85 дБ;
- живлення забезпечується довготривалою батареєю (залежно від модифікації — до 10 років роботи);
- має кнопку тестування та вимкнення хибного сигналу (hush function);
- орієнтований на просте автономне використання без додаткових сенсорів (вологості, температури, CO тощо відсутні);
- не має мікрофона, динаміків або функцій «розумного» підключення;
- Ціна 1799 грн

Зовнішній вигляд пристрою представлений на рис. 2



Рисунок 2 — Зображення Кири 10 з офіційного сайту

Сенсор задимлення ИП 212-50М2 є прикладом автономного оптичного сповіщувача. Він призначений для виявлення загорянь, що супроводжуються появою диму низької концентрації у закритих приміщеннях. Принцип його роботи базується на реєстрації відбитого від частинок диму оптичного випромінювання, після чого у разі виявлення небезпечної концентрації формується тривожний сигнал у вигляді гучного звукового сповіщення.

Зовнішній вигляд приладу зображено на рис. 3

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 16  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |



Рисунок 3 – ИП 212-50М2

Характеристики:

- Невеликі габарити;
- Тип сповіщення – звук і червоний світлодіодний спалах;
- Гучність звукового сигналу – від 85 дБ до 120 дБ
- Живлення від акумуляторної батареї;
- Кріпиться на стелю за допомогою кріплень.

Зовнішній вигляд аспіраційного сенсора SecuriSmoke ASD 532 зображено на рис 4



Рисунок 4 – SecuriSmoke ASD 532

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 17  |

Ось переформульований варіант у більш науковому та дипломному стилі:

Довжина всмоктувального трубопроводу системи ASD 532 може досягати 120 метрів, що забезпечує можливість ефективного контролю значних за площею приміщень. Завдяки компактній конструкції пристрій придатний для встановлення в різних типах об'єктів, зокрема в лабораторіях, шахтах ліфтів, камерах тимчасового утримання, серверних приміщеннях (ІТ-шафах), а також на телекомунікаційних об'єктах та інших інфраструктурних спорудах.

Конструктивно прилад оснащений вбудованим вентилятором та одним всмоктувальним трубопроводом, що забезпечує постійний забір повітря для аналізу.

Слід зазначити, що маса даного типу пристроїв є значно більшою у порівнянні з традиційними оптичними точковими сенсорами, що обумовлено складнішою конструкцією та наявністю додаткових функціональних модулів.



Рисунок 5 – Pyronix SMOKE-WE

Оптичний сенсор Pyronix SMOKE-WE є прикладом автономних сенсорів задимленості. Зовнішній вигляд автономного оптичного

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      |                     | Арк |
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | 18  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

Характеристики:

- компактні габаритні розміри;
- комбінований тип індикації: звуковий сигнал та червоний світлодіодний спалах;
- рівень гучності звукового сигналу становить близько 85 дБ;
- можливість бездротового підключення до приймально-контрольного приладу пожежної сигналізації;
- живлення здійснюється від батареї;
- монтаж передбачено на стелю.

У даному розділі було проведено аналіз основних типів сенсорів задимлення, а також розглянуто існуючі на ринку аналоги пристроїв. В межах дипломного проекту обрано автономний оптичний сенсор задимлення. За принципом виявлення диму він належить до оптичних лінійних сенсорів.

На вибір саме такого типу пристрою вплинула низка факторів, серед яких:

- економічна доцільність, оскільки даний тип сенсорів характеризується відносно низькою вартістю;
- компактність конструкції;
- безпечність оптичного випромінювання для людини;
- здатність ефективно виявляти як світлий (сірий), так і темний дим;
- можливість автономної роботи без необхідності підключення до зовнішніх мереж, оскільки пристрій самостійно здійснює виявлення та оповіщення про пожежу

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 19  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

## 2. ПРОЄКТУВАННЯ СХЕМ

### 2.1 Проектування структурної схеми

Для подальшої розробки інтелектуального сенсора задимлення необхідно виконати детальне визначення його функціональної структури відповідно до сформульованих вимог технічного завдання та передбаченого набору функцій. На даному етапі проектування здійснюється формування загальної архітектури пристрою, визначення основних функціональних блоків, а також встановлення принципів їх взаємодії та інформаційного обміну між ними.

Функціональна декомпозиція системи дозволяє розділити складний пристрій на окремі логічні модулі, кожен з яких виконує визначену частину загального алгоритму роботи. До таких модулів належать вузли збору даних, їх первинної та вторинної обробки, прийняття рішень, формування керуючих сигналів, а також блоки передачі інформації та індикації стану. Такий підхід забезпечує модульність системи, спрощує процес її проектування, налагодження та подальшої модернізації.

Окремо на цьому етапі встановлюються вимоги до кожного функціонального блоку, зокрема щодо швидкодії, точності обробки сигналів, енергоспоживання, сумісності з іншими компонентами системи та можливості інтеграції у сучасні IoT-рішення. Це дозволяє забезпечити узгоджену роботу всіх елементів пристрою в єдиній інформаційно-апаратній системі.

Правильне визначення складу та структури системи є одним із ключових етапів усього процесу проектування, оскільки саме на його основі здійснюється подальший вибір елементної бази, розрахунок параметрів окремих функціональних вузлів, а також оцінювання технічної та

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 20  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

економічної доцільності реалізації запропонованого рішення. Крім того, на цьому етапі формується обґрунтування вибору конкретних електронних компонентів із урахуванням таких критеріїв, як надійність роботи, енергоефективність, вартість, доступність на ринку та простота технічного обслуговування.

Результатом виконання даного етапу є сформована структурна модель інтелектуального сенсора задимлення, яка слугує основою для подальшого проектування електричної принципової схеми та розробки друкованої плати. Отримана структура забезпечує чітке відображення взаємозв'язків між усіма функціональними блоками системи та дозволяє реалізувати повний цикл роботи пристрою, що включає моніторинг рівня задимлення, обробку отриманих даних у реальному часі, формування сигналів тривоги та передачу сповіщень користувачеві через мережеві канали зв'язку.

## 2.2 Компонети структурної схеми

Датчик диму є основним елементом розроблюваного пристрою, оскільки саме він виконує функцію контролю стану навколишнього середовища та визначення рівня задимленості у приміщенні. Принцип його роботи полягає у безперервному вимірюванні концентрації димових частинок у повітрі та формуванні відповідного електричного сигналу. Отримані дані передаються до мікроконтролера для подальшої обробки. Від точності та швидкодії датчика безпосередньо залежить ефективність виявлення потенційної пожежної небезпеки на ранніх стадіях її виникнення.

Мікроконтролер є центральним керуючим елементом системи та виконує обробку даних, отриманих від датчика диму, у режимі реального часу. На

|      |      |           |        |      |                     |     |
|------|------|-----------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |           |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |           |        |      |                     | 21  |
| Змн. | Арк. | №докумен. | підпис | Дата |                     |     |

основі отриманих показників він здійснює аналіз поточного стану середовища та приймає рішення щодо активації системи оповіщення. У разі виявлення небезпечного рівня задимлення мікроконтролер формує та надсилає HTTP POST-запит до віддаленого web API сервера, який забезпечує подальше інформування користувача. Крім того, саме цей модуль відповідає за підключення пристрою до бездротової мережі Wi-Fi, керування периферійними пристроями та виконання алгоритмів роботи системи. Налаштування параметрів роботи здійснюється користувачем під час першого запуску пристрою за допомогою інтерфейсу UART.

Для забезпечення стабільної та безперервної роботи всіх функціональних вузлів пристрою необхідне надійне джерело живлення. Основним завданням блоку живлення є подача стабілізованої напруги необхідного рівня на всі електронні компоненти системи незалежно від змін навантаження. Якість роботи даного блоку безпосередньо впливає на надійність функціонування мікроконтролера, датчика диму та засобів індикації.

USB-інтерфейс використовується для початкового налаштування пристрою, завантаження програмного забезпечення та оновлення його прошивки. Оскільки обмін даними між персональним комп'ютером та мікроконтролером здійснюється через протокол UART, необхідно застосувати спеціалізовану мікросхему-перетворювач USB-UART. Вона забезпечує коректне узгодження сигналів між різними інтерфейсами передачі даних. Використання USB як основного інтерфейсу налаштування обумовлено його широким поширенням серед сучасних комп'ютерних пристроїв, що значно спрощує процес експлуатації та обслуговування системи.

Блок індикації призначений для локального оповіщення користувачів про виникнення потенційно небезпечної ситуації. Для підвищення надійності сприйняття тривожних повідомлень передбачено використання двох

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 22  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

незалежних способів індикації: світлового та звукового. Світлова індикація реалізується за допомогою світлодіода, який сигналізує про поточний стан роботи пристрою та наявність аварійних подій. Звукова індикація забезпечується п'єзоелектричним випромінювачем, що генерує звуковий сигнал тривоги у випадку виявлення задимлення або інших критичних станів системи.

Таким чином, у результаті проведеного аналізу визначено основні функціональні блоки інтелектуального сенсора задимлення: датчик диму,

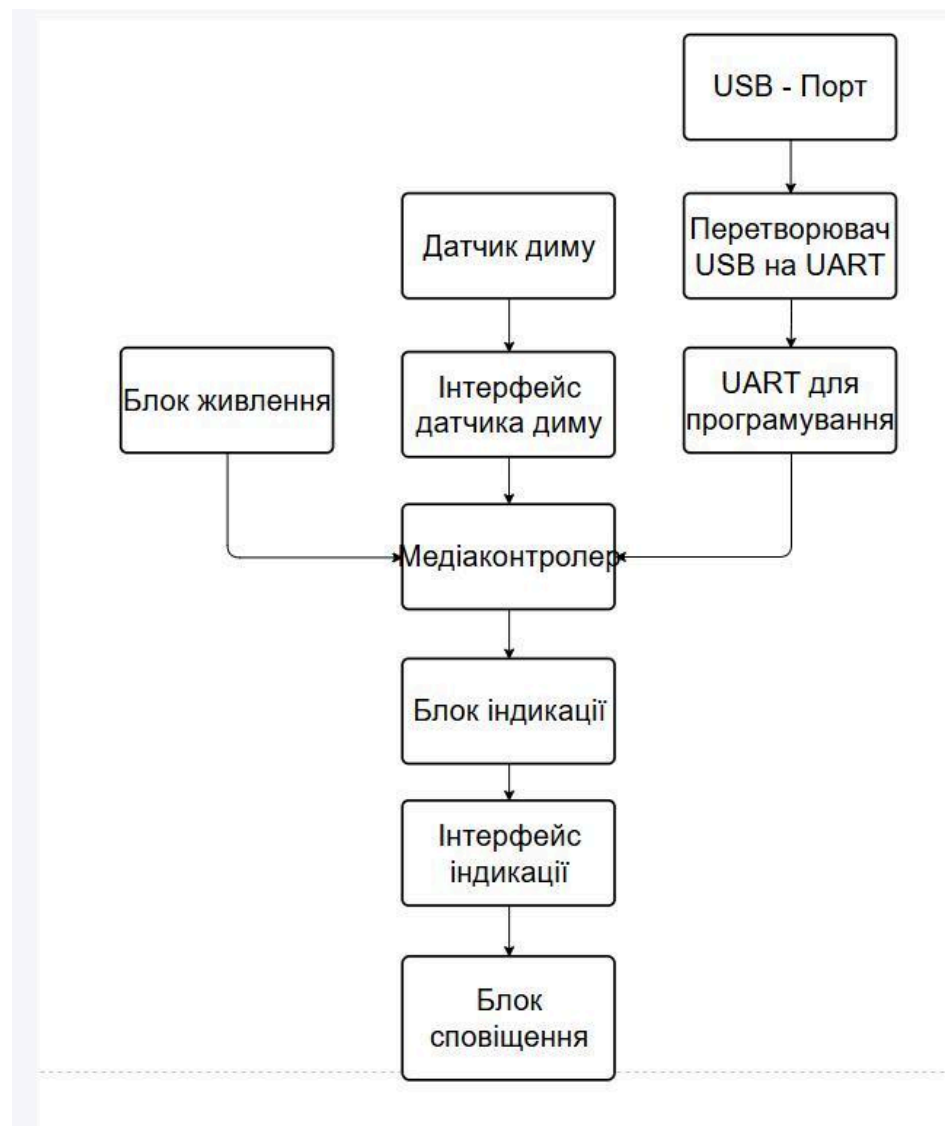


Рисунок 6 — Структурна схема пристрою

мікроконтролер, блок живлення, USB-інтерфейс та блок індикації.

Взаємодія зазначених модулів забезпечує виконання всіх функцій пристрою, передбачених технічним завданням. Структурну схему розроблюваного пристрою наведено на рис. 6.

### 2.3 ПРОЕКТУВАННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ

Після формування структурної схеми пристрою необхідно виконати підбір елементної бази для кожного з визначених функціональних блоків. Даний етап є одним із ключових у процесі проектування, оскільки від правильності вибору компонентів залежать технічні характеристики, надійність, енергоефективність та функціональні можливості розроблюваного пристрою.

Під час вибору компонентів необхідно враховувати їх електричні параметри, сумісність між собою, доступність на ринку, вартість, а також можливість подальшої інтеграції в єдину систему. Особливу увагу слід приділити вибору мікроконтролера та датчика диму, оскільки саме ці компоненти визначають основні функціональні можливості інтелектуального сенсора задимлення та впливають на точність виявлення небезпечних ситуацій.

Крім того, обрані компоненти повинні забезпечувати стабільну роботу пристрою в режимі безперервного моніторингу, підтримувати бездротовий обмін даними через мережу Wi-Fi та мати достатній рівень енергетичної ефективності для тривалої автономної роботи. Важливими критеріями також є простота монтажу на друкованій платі, наявність технічної документації та підтримка сучасних засобів розробки програмного забезпечення.

Таким чином, підбір компонентів є важливим етапом створення розумного датчика диму, результати якого використовуються для

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 24  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

розроблення електричної принципової схеми, друкованої плати та програмної частини пристрою

## 2.4 Компоненти схеми електричної принципової

Мікроконтролер. Основним завданням мікроконтролера є безперервний моніторинг рівня задимлення в приміщенні в режимі реального часу на основі даних, що надходять від датчика диму, встановленого на друкованій платі. Окрім цього, мікроконтролер виконує обробку отриманих сигналів, прийняття рішень щодо виникнення аварійної ситуації, формування сигналу тривоги та ініціалізацію передачі даних до віддаленого web API сервера шляхом формування HTTP-запиту.

З урахуванням вимог до енергоефективності, продуктивності та можливості бездротової передачі даних доцільним є використання мікроконтролера з інтегрованим модулем Wi-Fi або підтримкою його підключення. Це дозволяє спростити архітектуру пристрою, зменшити кількість зовнішніх компонентів та підвищити надійність системи в цілому.

Одним із можливих варіантів реалізації є використання мікроконтролера з сімейства рішень компанії Microchip Technology, зокрема Wi-Fi модулів серії ATWINC1500. Даний модуль орієнтований на застосування в системах Інтернету речей (IoT) та забезпечує стабільне бездротове з'єднання з мінімальним енергоспоживанням. Завдяки високій ефективності виконання інструкцій, пристрій забезпечує продуктивність на рівні близько 1 MIPS на 1 МГц тактової частоти, що дозволяє ефективно поєднувати швидкодію та енергоощадність.

До основних технічних характеристик мікроконтролера належать:  
— інтегрований кварцовий генератор із тактовою частотою 26 МГц;

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 25  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

- підтримка кількох режимів енергозбереження, що дозволяє оптимізувати споживання енергії залежно від режиму роботи;
- наявність 32 робочих регістрів загального призначення розрядністю 8 біт;
- до 6 програмованих ліній введення/виведення для підключення периферійних пристроїв;
- діапазон робочої напруги живлення від 2,7 В до 3,6 В.

Застосування даного мікроконтролера дозволяє забезпечити надійну роботу інтелектуального сенсора задимлення, реалізувати функції бездротової передачі даних та інтеграцію пристрою в IoT-екосистему.

На рис. 7 представлено блок-схему ATWINC1500.

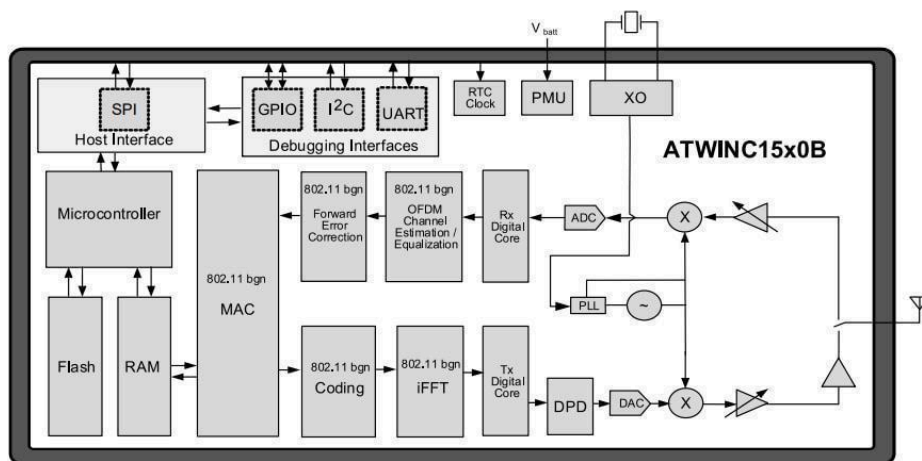


Рисунок 7 — Блок-схема ATWINC1500 від Microchip Technology

Запропоноване раніше рішення на базі ATWINC1500 не є повністю доцільним для даного проекту через обмежену кількість портів введення/виведення, а також відсутність вбудованого аналого-цифрового перетворювача, який є необхідним для коректного зчитування аналогового сигналу з датчика диму. Це суттєво ускладнює апаратну реалізацію

пристрою та потребує використання додаткових зовнішніх компонентів, що збільшує складність і вартість системи.

З урахуванням зазначених обмежень більш ефективним та доцільним рішенням є використання мікроконтролера ESP32-WROOM-32D, розробленого компанією Espressif Systems. Даний мікроконтролер являє собою високопродуктивну систему на кристалі (SoC), яка інтегрує в одному корпусі обчислювальне ядро, модулі бездротового зв'язку Wi-Fi та Bluetooth, а також периферійні інтерфейси для підключення зовнішніх пристроїв.

ESP32 широко використовується у сучасних IoT-рішеннях завдяки поєднанню високої продуктивності, енергоефективності та розширених функціональних можливостей. Наявність вбудованого Wi-Fi модуля дозволяє забезпечити стабільне підключення до мережі Інтернет без використання додаткових компонентів, що спрощує архітектуру пристрою та зменшує габарити друкованої плати.

До основних характеристик ESP32-WROOM-32D належать:

- низька вартість у порівнянні з аналогічними рішеннями;
- вбудований 12-бітний аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
- до 18 каналів АЦП для підключення різних аналогових датчиків;
- інтегрований модуль бездротового зв'язку Wi-Fi;
- підтримка Bluetooth для додаткових можливостей комунікації;
- діапазон робочої напруги живлення від 3,0 В до 3,6 В.

Завдяки цим характеристикам ESP32-WROOM-32D є оптимальним вибором для реалізації інтелектуального сенсора задимлення, оскільки забезпечує необхідну функціональність для обробки даних, бездротової передачі інформації та інтеграції пристрою в IoT-системи.

|      |      |           |        |      |                     |     |
|------|------|-----------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |           |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |           |        |      |                     | 27  |
| Змн. | Арк. | №докумен. | підпис | Дата |                     |     |

На рис. 8 представлено функціональну блок-діаграму контролерів сімейства ESP32.

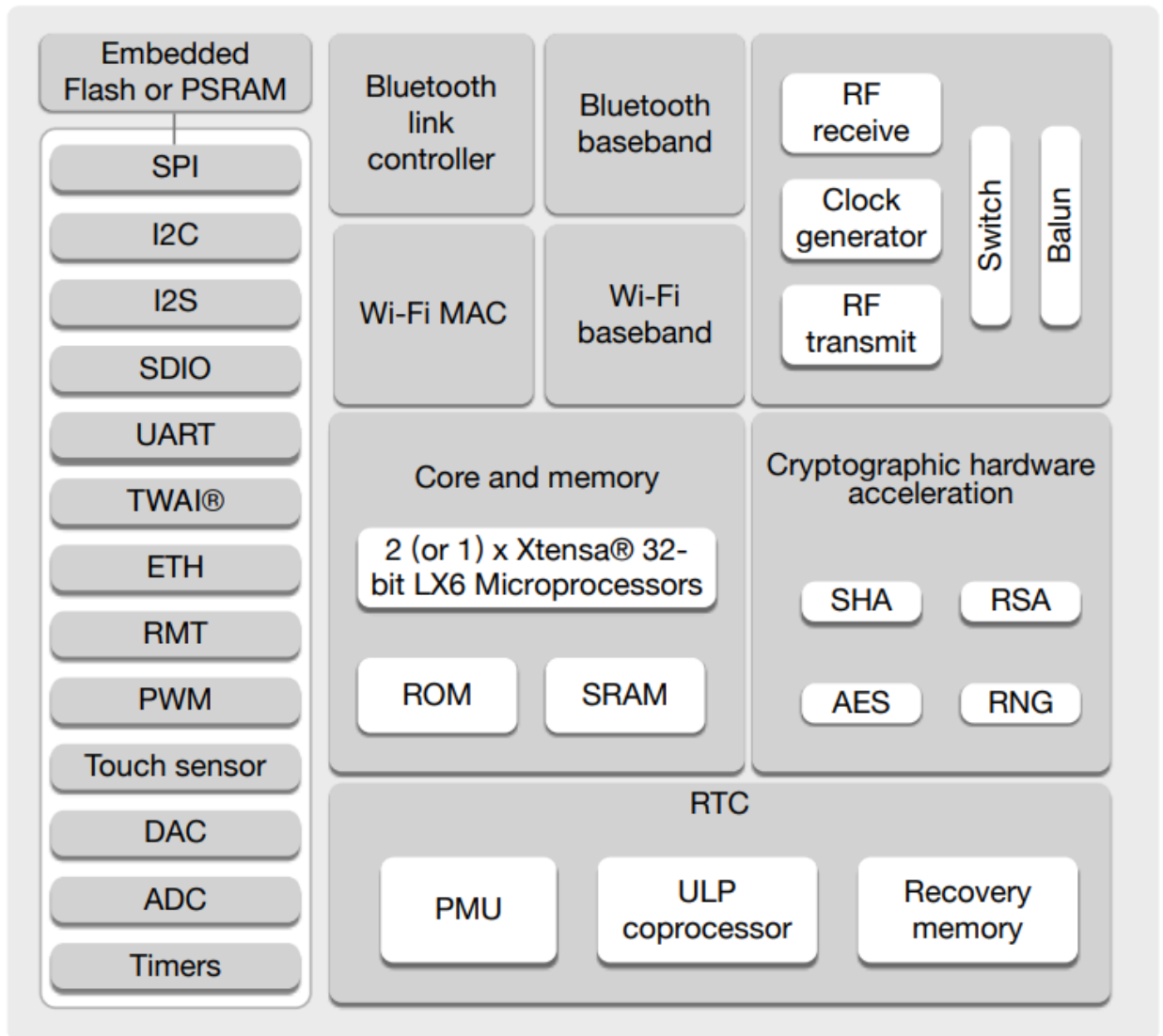


Рисунок 8 — Функціональна блок-діаграма сімейства ESP32

Вибір зроблено на користь мікроконтролера компанії Espressif Systems, оскільки він характеризується більшою максимальною тактовою частотою, наявністю вбудованого аналого-цифрового перетворювача, а також більшою кількістю входів і виходів

Вибір мікроконтролера - Для порівняння основні характеристики розглянутих мікроконтролерів відображено в таблиці 1

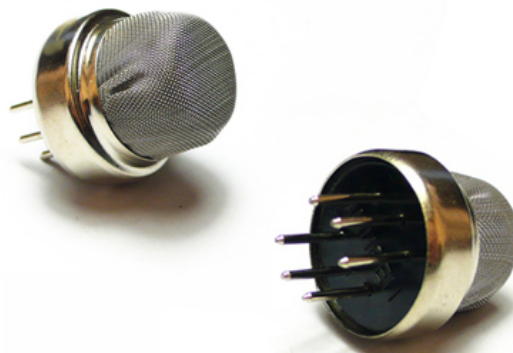
Таблиця 1 — Порівняння мікроконтролерів

| № | Мікроконтролер                 | ESP32-W<br>ROOM-3<br>2D | ATWI<br>NC150<br>0       | Прим. |
|---|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|
| 1 | Виробник                       | Espressif<br>Systems    | Microc<br>hip            |       |
| 2 | Ядро                           | RISC                    | RISC                     |       |
| 3 | Максимальна тактова<br>частота | До 240<br>МГц           | 26<br>МГц                |       |
| 4 | Кількість входів/виходів       | 35                      | 5                        |       |
| 5 | Розмір програмної пам'яті      | 32 кБ                   | 4 кБ                     |       |
| 6 | Розрядність АЦП                | 12 біт                  | -                        |       |
| 7 | Кількість каналів АЦП          | 18                      | -                        |       |
| 8 | Робоча напруга живлення        | від 3,0 В<br>до 3,6 В   | від 2,7<br>В до<br>3,6 В |       |

Датчик диму - MQ-2 від компанії HENAN HANWEI Electronics Co. Ltd. є вивідним датчиком для виявлення диму. Основними перевагами даного сенсора є:

- висока чутливість;
- тривалий термін експлуатації;
- низька вартість;
- проста схема підключення.

Зовнішній вигляд датчика представлений на рис. 9



## Рисунок 9 — Датчик диму MQ-2

Основні характеристики :

- Напруга опалення 5 В;
- Напруга живлення 5 В;
- Рівень споживчої енергії 800 мВт.

Перетворювач логічних рівнів. У мікроконтролері ESP32 рівень логічної «1» відповідає напрузі 3,3 В, тоді як вихідний сигнал деяких датчиків диму може досягати значення 5 В. У зв'язку з цим виникає необхідність узгодження логічних рівнів між окремими елементами системи для забезпечення коректної та безпечної взаємодії компонентів.

Перевищення допустимого рівня вхідної напруги мікроконтролера може призвести до некоректної роботи пристрою або його пошкодження, тому у схемі необхідно передбачити спеціальний вузол перетворення рівнів сигналів, який забезпечує зниження напруги з 5 В до 3,3 В.

Як оптимальне рішення обрано мікросхему TXB0104 виробництва компанії Texas Instruments. Даний перетворювач логічних рівнів є компактним та універсальним рішенням, що дозволяє здійснювати двонаправлене узгодження сигналів між різними логічними доменами. Його використання спрощує схему пристрою, зменшує кількість додаткових дискретних елементів та підвищує надійність передачі цифрових сигналів між датчиком і мікроконтролером.

Вибір цієї мікросхеми також обумовлений її широкою доступністю на ринку електронних компонентів, простотою інтеграції у друковану плату та відповідністю вимогам проєкту щодо енергоефективності та компактності.

Зовнішній вигляд мікросхеми представлений на рис. 10

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 30  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

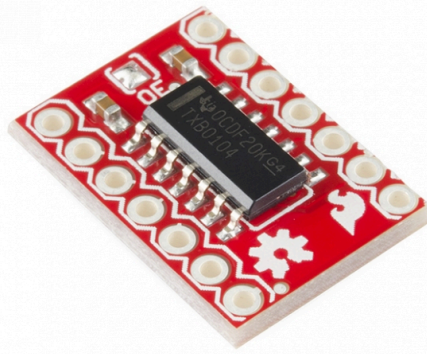


Рисунок 10 — Перетворювач рівнів напруги TXB0104

USB-інтерфейс є необхідним елементом системи, оскільки забезпечує можливість початкового налаштування пристрою під час першого запуску. Зокрема, користувач повинен мати змогу задати параметри підключення до Wi-Fi мережі, включаючи ім'я мережі (SSID) та пароль доступу, які надалі зберігаються у відповідних змінних мікроконтролера та використовуються для автоматичного підключення пристрою до мережі.

Обраний мікроконтролер підтримує програмування та налаштування через інтерфейс UART, що вимагає використання спеціального перетворювача для узгодження USB-сигналів персонального комп'ютера з UART-інтерфейсом мікроконтролера. Такий підхід дозволяє забезпечити зручне та універсальне підключення пристрою до будь-якого сучасного комп'ютера без необхідності використання додаткових спеціалізованих програматорів.

Як перетворювач USB–UART обрано мікросхему FT232RL виробництва компанії FTDI Chip. Дане рішення є поширеним у проектуванні вбудованих систем завдяки своїй високій надійності, стабільності роботи та широкій сумісності з різними операційними системами. Крім того, FT232RL має добре документовану архітектуру та підтримується великою кількістю готових драйверів, що значно спрощує процес розробки та налагодження пристрою.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 31  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

Вибір цієї мікросхеми також зумовлений її широкою доступністю на ринку електронних компонентів, простотою інтеграції у друковану плату та відповідністю вимогам проєкту щодо надійності та зручності експлуатації.

Зовнішній вигляд мікросхеми представлений на рис. 11

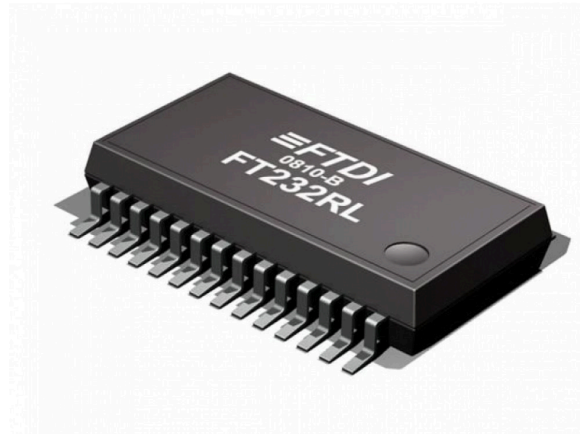


Рисунок 11 — Перетворювач з USB на UART

Пристрій буде живитися за допомогою двох акумуляторів типу AA з сумарною постійною напругою 7.4 В. В умовах технічного завдання не сказано про можливість зарядження акумуляторів. Тому ця функція не буде додана. Одразу після блоку живлення на платі знаходяться дві мікросхеми AMS1117-5 на 5 В, які стабілізують перетворюють вхідну напругу до 5 В і стабілізують її. Розбиття провідника на дві частини, кожна з яких прямує до AMS1117-5, було зумовлено тим пристрій споживає 1,174 А, бо мікроконтролер споживає 0,5 А, TXB0104 — 5 мкА, MQ-2 — 150 мА, FT232RL — 24 мА, USB — 0,5 А.

У випадку, коли присутня лише одна мікросхема, що може видати 0,8 А, схема була б не працездатною, бо живлення не вистачило б для усіх компонентів. Тому було додано ще одну таку саму мікросхему для вирішення цієї проблеми.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 32  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

Були проведення обчислення щодо потужності, яку споживає пристрій.

Використовуючи закон збереження енергії, були отримані наступні значення споживаної потужності для мікросхем:

- USB — 2,5 Вт при напрузі 5 В і силі струму 0,5 А;
- FT232RL — 0,12 Вт при напрузі 5 В і силі струму 24 мА;
- AMS1117-5, яка живить FT232RL та USB — 2,62 Вт при напрузі 5 В та силі струму 0,524 А.
- ESP-32 — 1,65 Вт при напрузі 3,3 В і силі струму 0,5 А;
- MQ-2 — 0,75 Вт при напрузі 5 В і силі струму 150 мА;
- AMS1117-3.3 — 1,82 Вт при напрузі 3,3 і силі струму 550 мА
- AMS1117-5 (позначена DA1 на електронній схемі) — 2,57 Вт при напрузі 5 та силі струму 514 мА;

Провівши підрахунки значення сили струму, яка надходить від джерела живлення, було отримане значення 0,701 А. Тоді потужність споживання пристрою становить 5,19 Вт при напрузі 7,4 В. Потужність мікросхеми TXB0104 не враховувалась при розрахунках через малий струм споживання.

Блок індикації складається зі світлодіода та п'єзоелектричного звукового випромінювача. У разі підвищення рівня диму мікроконтролер надсилає керуючі сигнали на цей модуль, у результаті чого світлодіод вмикається, а звуковий випромінювач генерує акустичний сигнал.

У випадку хибного спрацювання передбачено кнопку, розташовану на корпусі пристрою, натискання якої дозволяє припинити процес оповіщення користувача.

Зображення світлодіода представлено на рис. 12

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 33  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

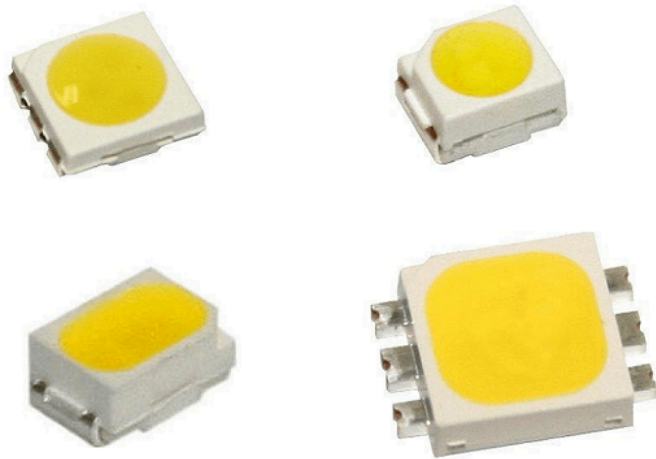


Рисунок 12— Світлодіод

Зображення випромінювача звуку представлено на рис. 13



Рисунок 13 — Зображення випромінювача звуку

На основі підбраної елементної бази була розроблена електрична принципова схема, яка наведена на рисунку 14

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 34  |

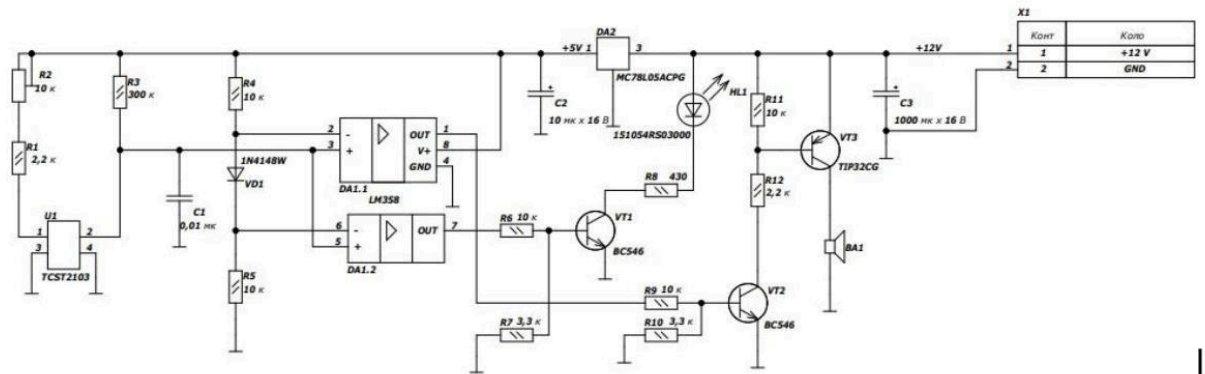


Рисунок 14 — Схема електрична принципова розумного датчику диму

## 3 КОНСТРУЮВАННЯ ВИРОБУ

### 3.1 Бібліотека компонентів для AD

В конструкції потрібно використовувати компонентну базу та матеріали, які серійно випускає промисловість. Вони мають бути дозволені до застосування в РЕА загального призначення.

Обрана елементна база має задовольняти задані електричні параметри. Елементна база впливає на габарити пристрою і має працювати в заданих кліматичних умовах.

Для вибору електронної бази використовувалися електронні каталоги РКС Компоненти [4] і Snapeda [4], Alldatasheet [5].

При виборі резисторів потрібно враховувати їх характеристики, габарити та вартість. Для зручності розміщення на платі обираємо SMD резистори. Оскільки плата двостороння, їх можна розмістити на другій стороні, що полегшить розстановку елементів та трасування.

Для резисторів R1, R3–R12 було обрано резистори типу 0805. Вони мають достатні габарити, щоб припаювати їх вручну, не надто громіздкі і мають прийнятну максимальну допустиму напругу.

Обрані компоненти фірми Hitano і Yageo мають наступні параметри:

- номінальні опори: 430 Ом, 2,2 кОм, 3,3 кОм, 10 кОм, 300 кОм;
- номінальна потужність: 0,125 Вт;
- допуск:  $\pm 1\%$ ,  $\pm 5\%$ .

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 36  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

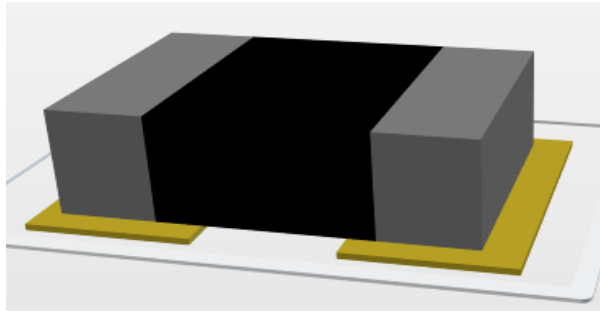


Рисунок 15— 3D модель SMD резистора в середовищі Altium

Резистор R2 підстроювальний. У схемі застосовуємо резистор EVM2W. Обраний компонент має наступні параметри:

- номінальний опір: 10 кОм;
- номінальна потужність: 0,15 Вт;
- допуск:  $\pm 25\%$ .

Конденсатори обираються з огляду на їх характеристики, габарити та ва- ртість. Оскільки вибір пав на SMD резистори, то обираємо і SMD конденса- тори.

Обрано керамічний конденсатор С1 типу 0805 марки Samsung. Його параметри:

- номінальна ємність: 0,01 мкФ;
- номінальна напруга: 50 В;
- допуск:  $\pm 15\%$ ;
- діапазон робочих температур:  $-55...+125^{\circ}\text{C}$ ;
- габарити: 2,0x1,25x0,5.

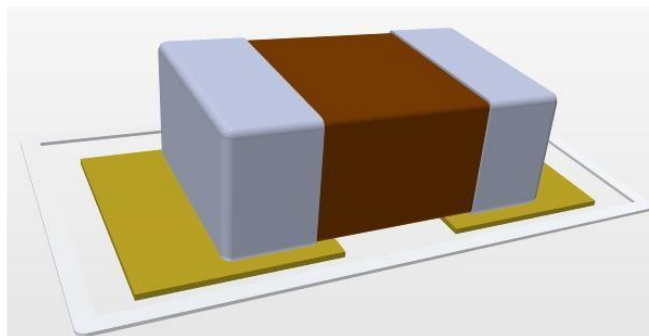


Рисунок 16 — 3D модель конденсатора в середовищі Altium

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 37  |

Конденсатори C2, C3 електролітичні. Обрано марки Panasonic та Wurth electronic.

Дані компоненти мають наступні параметри:

- номінальні ємності: 10 мкФ, 1000 мкФ;
- номінальні напруги: 6,3 В, 16 В;
- діапазон робочих температур:  $-55...+125^{\circ}\text{C}$ ;
- допуск:  $\pm 20\%$ .

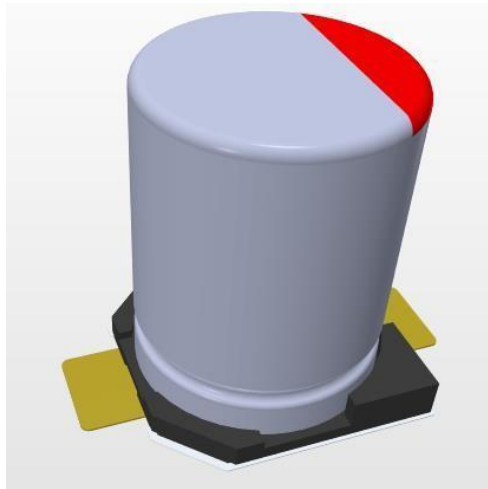


Рисунок 17 — 3D модель електролітичного конденсатора в середовищі Altium

У якості елемента U1 використовується оптрон TCST2103 фірми Vishay з наступними параметрами:

2. прями́й струм: 60 мА;
3. зворотна напруга: 6 В;
4. розсіювання потужності: 100 мВт;
5. напруга колектор-емітер: 70 В;
6. напруга емітер-колектор: 7 В;
7. струм колектора: 100 мА;
8. діапазон робочих температур:  $-55...+85^{\circ}\text{C}$ .

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 38  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

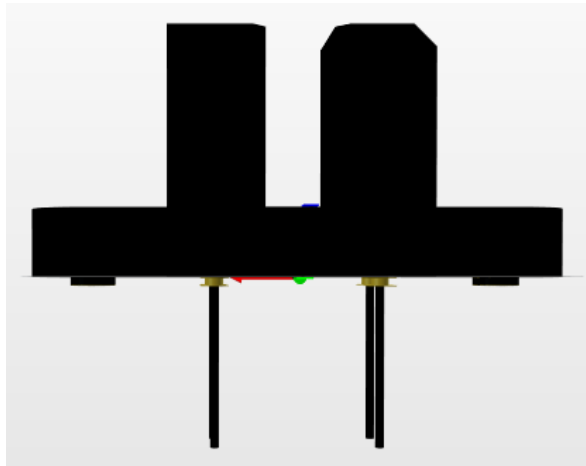


Рисунок 18 - 3D модель оптрона в середовищі Altium 9

У якості елементів VT1 і VT2 використовуються кремнієвий біполярний транзистор n-p-n структури BC546 в корпусі TO-92 фірми Fairchild з наступними параметрами:

- розсіювання потужності: 500 мВт;
- напруга колектор-емітер: 65 В;
- напруга емітер-база: 6 В;
- напруга колектор-база: 80 В;
- струм колектору: 100 мА;
- діапазон робочих температур:  $-65...+150^{\circ}\text{C}$ .

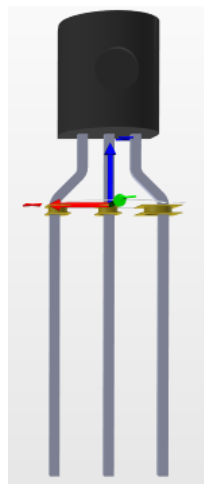


Рисунок 19 — 3D модель n-p-n транзистора в середовищі Altium

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 39  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

У якості елемента VT3 використовується кремнієвий біполярний транзистор р-п-р структури TIP32CG в корпусі TO-220-3 фірми ON semiconductor з наступними параметрами:

- напруга колектор-емітер: 100 В;
- напруга емітер-база: 5 В;
- напруга колектор-база: 100 В;
- струм колектору: 100 мА;
- максимальна потужність: 2 Вт;
- діапазон робочих температур:  $-65...+150^{\circ}\text{C}$ .

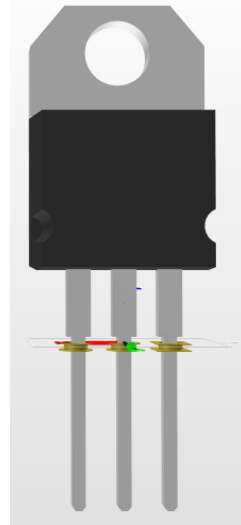


Рисунок 20 — 3D модель р-п-р транзистора в середовищі Altium

У якості елемента DA1 використовується оперативний підсилювач LM358 в корпусі SO-8 фірми Texas instruments з наступними параметрами:

- діапазон напруги живлення:  $3...32\text{ В}$ ;
- діапазон робочих температур:  $0...+70^{\circ}\text{C}$ .

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 40  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

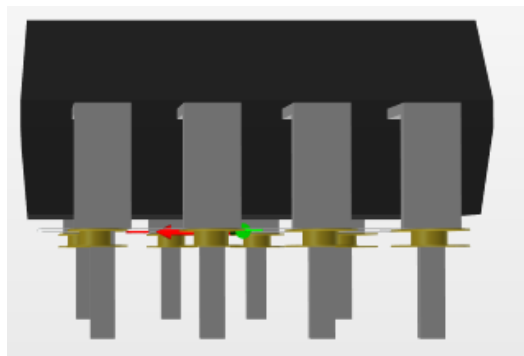


Рисунок 21 — 3D модель оперативного підсилювача в середовищі Altium

У якості елемента HL1 використовується світлодіод 151054RS03000 фі- рми Würth electronic з наступними параметрами:

- колір: червоний;
- довжина хвилі: 623 нм;
- кут огляду: 30°.

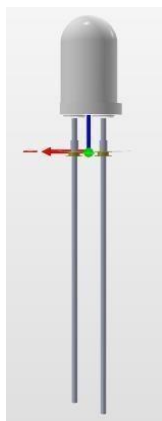


Рисунок 22 — 3D модель світлодіода в середовищі Altium

У якості VD1 використовується SMD діод 1N4148W в корпусі SOD-123 фірми Vishay з наступними параметрами:

- прямий струм: 0,15 А;
- зворотна напруга: 75 В;
- тип монтажу: SMD.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 41  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

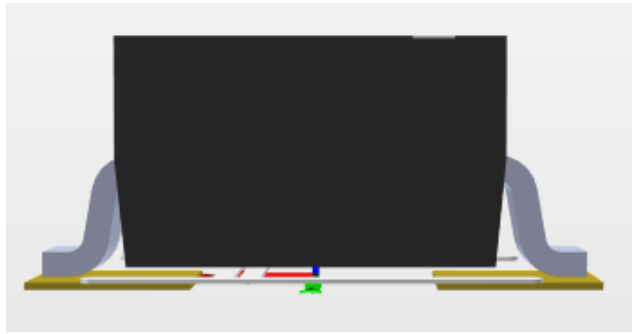


Рисунок 23 — 3D модель діода в середовищі Altium

У якості DA2 використовується стабілізатор MC78L08ACPG фірми ON semiconductor в корпусі TO-92-3 з наступними параметрами:

- діапазон вхідної напруги 9,7...30 В;
- вихідна напруга: 8 В;
- максимальний вихідний струм 100 мА;
- допустиме падіння напруги 1,7 В;
- допуск:  $\pm 5\%$ .

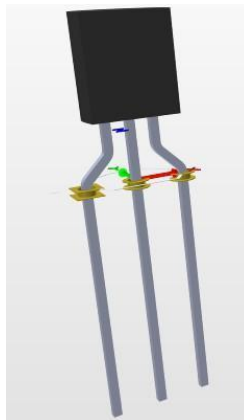


Рисунок 24 — 3D модель стабілізатора в середовищі Altium

Нам підходить будь-яка сирена з достатньою допустимою максимальною напругою. Обираємо електромагнітний сигналізатор LD-BZEN-1212 з

наступними параметрами:

- номінальна напруга: 9...15 В;
- максимальний струм: 30 мА;
- гучність звукового сигналу: 85 дБ.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 42  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

### 3.2 Вибір матеріалу та технології виготовлення плати

Як видно з принципової електричної схеми, частина провідників на ній графічно перетинається. Для усунення таких перетинів та забезпечення коректної реалізації електричних зв'язків трасування друкованої плати виконується із застосуванням двошарового виконання, тобто використанням верхнього та нижнього шарів металізації. Такий підхід дозволяє значно підвищити щільність розміщення елементів, оптимізувати довжину з'єднань та покращити електричні характеристики плати.

Елементна база, що використовується у пристрої, включає як поверхнево-монтовані компоненти (SMD), так і елементи з виводами (ТНТ). У зв'язку з цим під час розробки друкованої плати застосовується змішаний тип монтажу, який дозволяє поєднати переваги обох технологій: компактність поверхневого монтажу та механічну міцність вивідних компонентів.

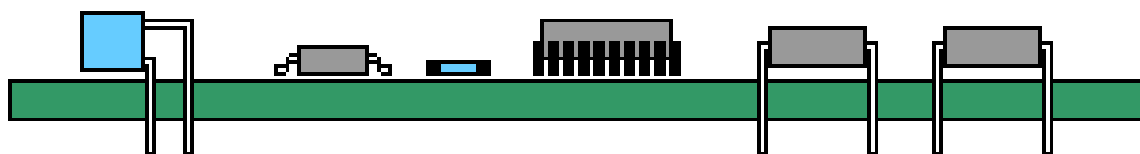


Рисунок. 25 — Ілюстрація змішаної збірки

Як матеріал основи друкованої плати використовується фольгований склотекстоліт типу FR-4 товщиною 1,5 мм із мідним покриттям 35/35 мкм. Даний матеріал є стандартом у виробництві сучасної електронної апаратури завдяки своїм високим електроізоляційним властивостям, механічній міцності, термостійкості та стабільності параметрів у широкому діапазоні температур. FR-4 широко застосовується у комп'ютерній техніці,

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 43  |

телекомунікаційному обладнанні, промисловій електроніці та інших високонавантажених системах.

Подальшим етапом є вибір технології виготовлення друкованої плати. У практиці виробництва електронних пристроїв найбільш поширеними є комбіновані методи виготовлення, зокрема позитивний та негативний.

Суть негативного методу полягає у тому, що формування провідного рисунка здійснюється після процесу металізації отворів. До його недоліків належать підвищений ризик проникнення хімічних розчинів у пори діелектрика під час подальших технологічних операцій, що може негативно впливати на електричні властивості плати. Також ускладнюється процес гальванічної металізації через необхідність забезпечення надійного електричного контакту внутрішніх поверхонь отворів, що підвищує технологічну складність виробництва.

Позитивний метод передбачає попередню металізацію отворів із подальшим формуванням провідного рисунка шляхом травлення. У цьому випадку фольгований шар використовується як тимчасовий провідний елемент, що забезпечує рівномірний розподіл струму під час гальванічних процесів.

Перевагами позитивного методу є висока точність відтворення провідників, добра адгезія металу до основи плати та надійна електрична провідність сформованих доріжок. До недоліків можна віднести можливість бокового підтравлення провідників, що може незначно зменшувати їх геометричну точність, а також підвищені вимоги до контролю технологічного процесу.

Порівняльний аналіз показує, що позитивний метод забезпечує кращу якість виготовлення та надійність друкованої плати, тому саме він обраний як базова технологія виробництва. Таким чином, друкована плата

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 44  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

розроблюваного пристрою буде виготовлена із застосуванням комбінованого позитивного методу.

### 3.3 Розрахунки площі друкованої плати

Розрахуємо необхідну площу друкованої плати разом із кріпленнями. Отримані результати занесемо до таблиці 2. Габаритні розміри компонентів враховано під час виконання розрахунків.

Таблиця 2 — Площа елементів на друкованій платі

| №  | Назва елемента             | Кількість | Габаритний коефіцієнт | Площа   | Сумарна площа | Прим. |
|----|----------------------------|-----------|-----------------------|---------|---------------|-------|
| 1  | Конденсатор 1206 (10 мкФ)  | 1         | 1                     | 17,587  | 11,76         |       |
| 2  | Конденсатор 1206 (100 мкФ) | 1         | 1                     | 17,587  | 17,587        |       |
| 3  | Конденсатор 1206 (0.1 мкФ) | 9         | 1                     | 19,702  | 177,318       |       |
| 4  | Резистор 1206              | 4         | 1                     | 18,282  | 73,128        |       |
| 5  | MQ-2                       | 1         | 2                     | 588,256 | 1176,512      |       |
| 6  | AMS1117-3.3                | 1         | 1,5                   | 57,47   | 86,205        |       |
| 7  | AMS1117-5                  | 2         | 1,5                   | 57,47   | 172,41        |       |
| 8  | FT232RL                    | 1         | 1,5                   | 130,286 | 195,429       |       |
| 9  | ESP-32                     | 1         | 2                     | 642,427 | 1284,854      |       |
| 10 | TXB01014                   | 1         | 1,5                   | 90,3    | 135,45        |       |
| 11 | USB                        | 1         | 1,5                   | 130,125 | 195,1875      |       |
| 12 | Майданчик для живлення     | 1         | 2                     | 2428,49 | 4856,982      |       |

|    |                    |   |     |         |         |  |
|----|--------------------|---|-----|---------|---------|--|
| 13 | Випромінювач звуку | 1 | 2   | 495,241 | 990,482 |  |
| 14 | Кнопка             | 2 | 1.5 | 48,491  | 96,982  |  |
|    | Світлодіод         | 1 | 1   | 11,672  | 11,672  |  |
|    | Монтажне кріплення | 4 | 1   | 9,61    | 38,44   |  |

Розрахунок площі друкованої плати проводився за формулою

$$S_{\text{ДП}} = \sum S_{\text{МГ}} + 1,5 \cdot \sum S_{\text{СТ}} + 2 \cdot \sum S_{\text{ВГ}} + \sum S_{\text{ОТВ}}$$

$S_{\text{МГ}}$  — площа малогабаритних елементів;

$S_{\text{СТ}}$  — площа середньогабаритних елементів;

$S_{\text{ВГ}}$  — площа великогабаритних елементів;

$S_{\text{ОТВ}}$  — площа для отворів кріплення

Після виконання розрахунків загальна площа друкованої плати становить 9575 мм<sup>2</sup>. Як результат, обрано плату розмірами 100 × 100 мм, що забезпечує достатньо місця для зручного розміщення всіх компонентів.

Друкована плата містить електронні компоненти, які потребують подачі електроенергії для коректного функціонування, а також обміну інформацією. Вона включає як силові лінії, що забезпечують живлення пристрою, так і сигнальні доріжки, які передають корисні дані. Саме для цих провідників необхідно розрахувати їхню ширину, яка може відрізнятись залежно від призначення.

Вихідні дані для виконання розрахунків наведені нижче:.

Маємо наступні вхідні данні для всіх розрахунків:

- Питомий опір провідників  $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$   $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$  ;

- Довжина провідника  $l_s = 0,1 \text{ м}$   $l_s = 0,1 \text{ м}$  ;

|      |      |           |        |      |                     |     |
|------|------|-----------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |           |        |      |                     | Арк |
|      |      |           |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | 46  |
| Змн. | Арк. | №докумен. | підпис | Дата |                     |     |

- Товщина фольги  $h_s = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$   $h_s = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$  ;

- Щільність струму в провідниках  $j_p = 20 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$   $j_p = 20 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$

- Товщина провідника  $h_p = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$   $h_p = 35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$

При подальших розрахунках ширини провідників силових ліній буде використано наведену формулу за умови максимальної прикладеної напруги.

$U_{max}$   $U_{max}$  та максимальної прикладеної сили струму.

$I_{max}$   $I_{max}$  в ділянці, для якої відбувається обчислення:

$$t = \frac{I_{max}}{h_p \cdot j_s}$$

Для подальших розрахунків сигнальних ліній буде використано іншу формулу за умови максимальної прикладеної напруги.

$U_{max}$   $U_{max}$  та максимальної прикладеної сили струму.

$I_{max}$   $I_{max}$  в ділянці, для якої виконується обчислення:

$$t = \frac{I_{max} \cdot l_s \cdot \rho}{h_s \cdot U_{max} \cdot 0,03}$$

Основні параметри для розрахунку ширини сигнального провідника

— максимальний прикладений струм: 0,1 А, 20 мА, 24 мА, 40 мА;

— напруга живлення: 3,3 В, 2,7 В та 5 В.

|      |      |           |        |      |                     |     |
|------|------|-----------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |           |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | №докумен. | підпис | Дата |                     | 47  |

За результатами виконаних розрахунків отримано такі значення:

- максимально допустима ширина провідника становить 0,3 мм;
- мінімально допустима ширина провідника становить 0,2 мм.

Основні параметри для розрахунку ширини силового провідника для прикладених 5 В

- максимальний прикладений струм: 800 мА;
- напруга живлення: 5 В.

За результатами виконаних розрахунків отримано такі значення:

- максимально допустима ширина провідника становить 2,143 мм;
- мінімально допустима ширина провідника становить 2,143 мм.

Основні параметри для розрахунку ширини силового провідника для прикладених 3,3 В до мікроконтролера

- максимальний прикладений струм: 500 мА;
- напруга живлення: 3,3 В.

У результаті проведених розрахунків отримано такі значення:

- максимально допустима ширина провідника становить 0,714 мм;
- мінімально допустима ширина провідника становить 0,714 мм.

Основні параметри для розрахунку ширини силового провідника на вході пристрою

- максимальний прикладений струм: 3 А;
- напруга живлення: 7,4 В.

У результаті виконаних розрахунків отримано такі значення:

- максимально допустима ширина провідника становить 4,286 мм;
- мінімально допустима ширина провідника становить 4,286 мм.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 48  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

Основні параметри для розрахунку ширини силового провідника на вході пристрою при розділенні провідника на дві частини

- максимальний прикладений струм: 1,5 А;
- напруга живлення: 7,4 В.

У результаті виконаних розрахунків отримано такі значення:

- максимально допустима ширина провідника становить 2,143 мм;
- мінімально допустима ширина провідника становить 2,143 мм.

Основні параметри для розрахунку ширини силового провідника після перетворення 5 В на 3,3 В

- максимальний прикладений струм: 0,8 А;
- напруга живлення: 3,3 В.

У результаті виконаних розрахунків отримано такі значення:

- максимально допустима ширина провідника становить 1,143 мм;
- мінімально допустима ширина провідника становить 1,143 мм.

Основні параметри для розрахунку ширини силового провідника для решти випадків

- максимальний прикладений струм: 0,1 А, 5 мкА, 150 мА, 100 мА;
- напруга живлення: 3,3 В та 5 В.

У результаті виконаних розрахунків отримано такі значення:

- максимально допустима ширина провідника становить 0,3 мм;
- мінімально допустима ширина провідника становить 0,2 мм.

На основі виконаних розрахунків виконується трасування друкованої плати пристрою. Вигляд друкованої плати з верхнього та нижнього боків у 2D представлені на рисунках 26 та 27

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 49  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

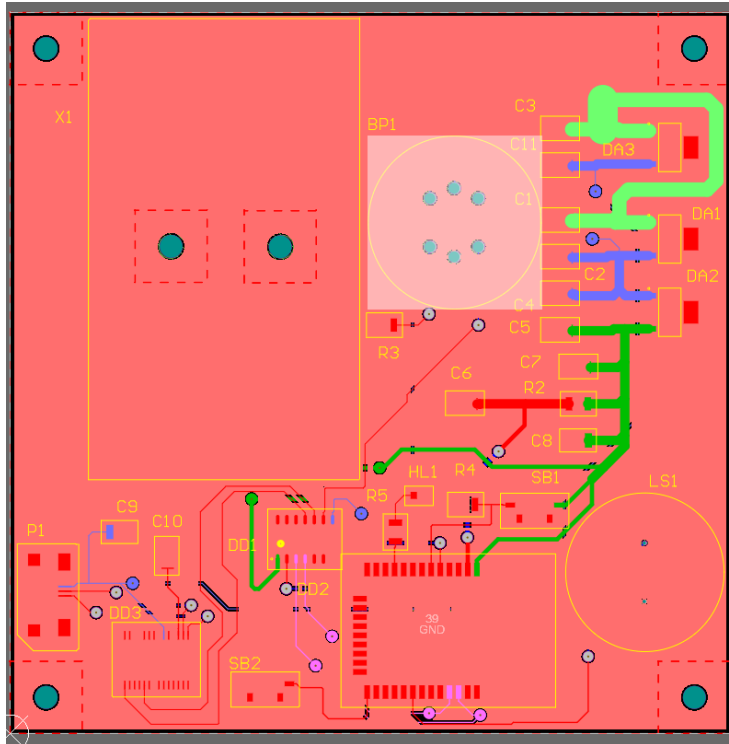


Рисунок 26 — Вид зверху на плату у 2D

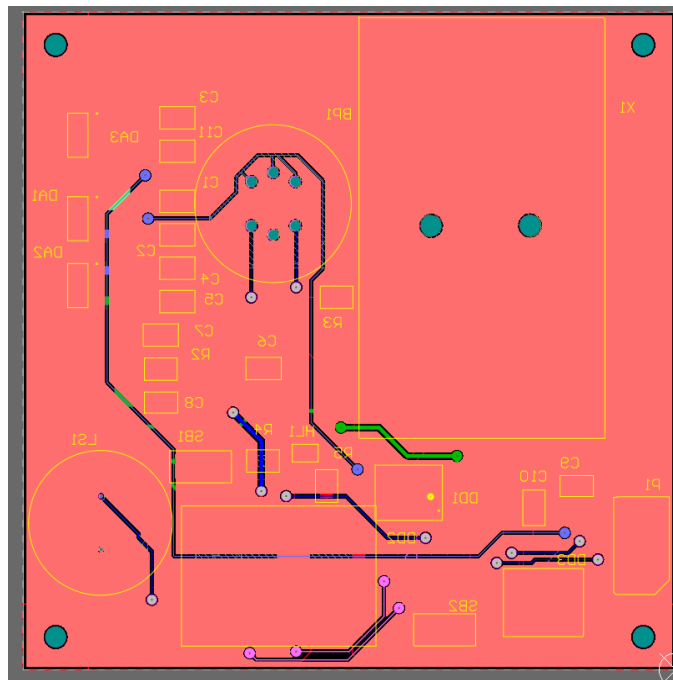


Рисунок 27 — Вид знизу на плату у 2D

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 50  |

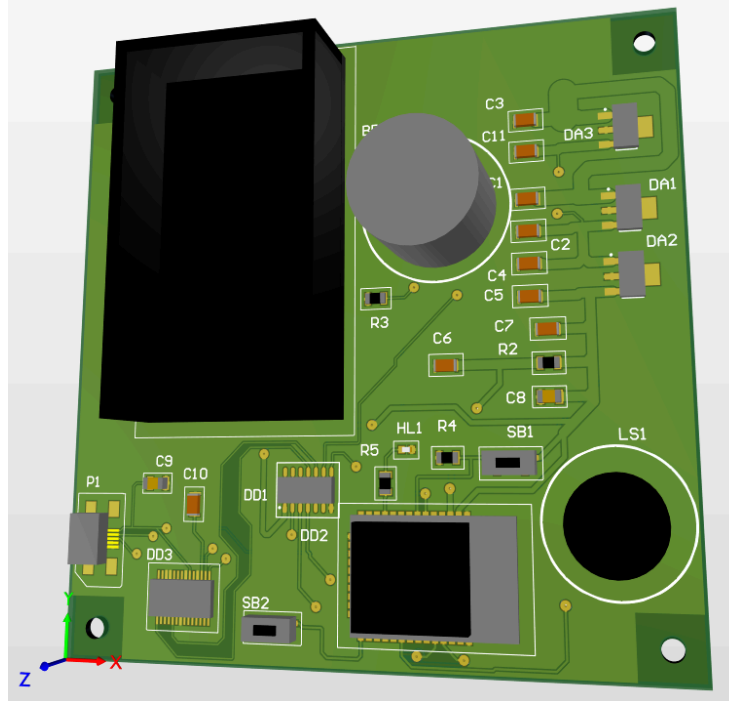


Рисунок 28 — Вигляд зверху на плату у 3D

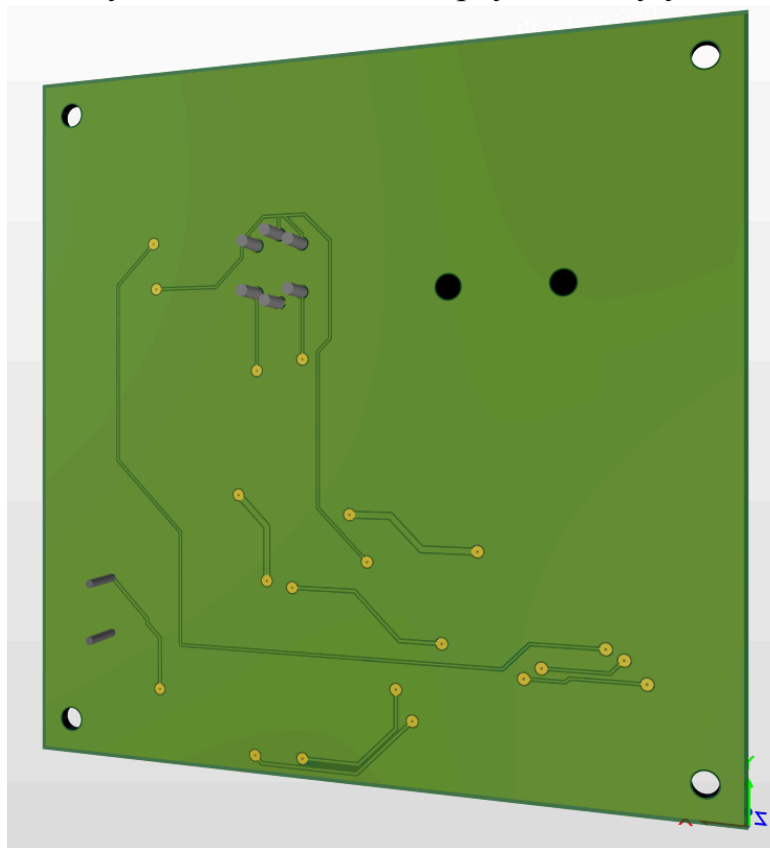


Рисунок 29 — Вигляд знизу на плату у 3D

Після завершення трасування було виконано перевірку на наявність порушень правил проектування у спеціалізованому програмному

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 51  |

забезпеченні Altium Designer. Результати перевірки показали, що трасування виконано без помилок.

Корпус пристрою як зазначалося в аналізі технічного завдання буде виготовлений із поліаміду. Він складається з двох частин: нижньої основи та кришки. Нижня частина містить чотири отвори під саморізи для кріплення друкованої плати, а також чотири отвори для монтажу пристрою на стіну.

Кришка має передбачені вирізи для USB-інтерфейсу, що використовується під час налаштування, а також для доступу до датчика диму. З'єднання деталей корпусу здійснюється за допомогою чотирьох саморізів. Усі зазначені кріпильні елементи мають однаковий діаметр — 3,3 мм. Кріплення всіх складальних одиниць пристрою виконується однаковими саморізами.

3D модель готового пристрою з корпусом представлена на рис. 30.

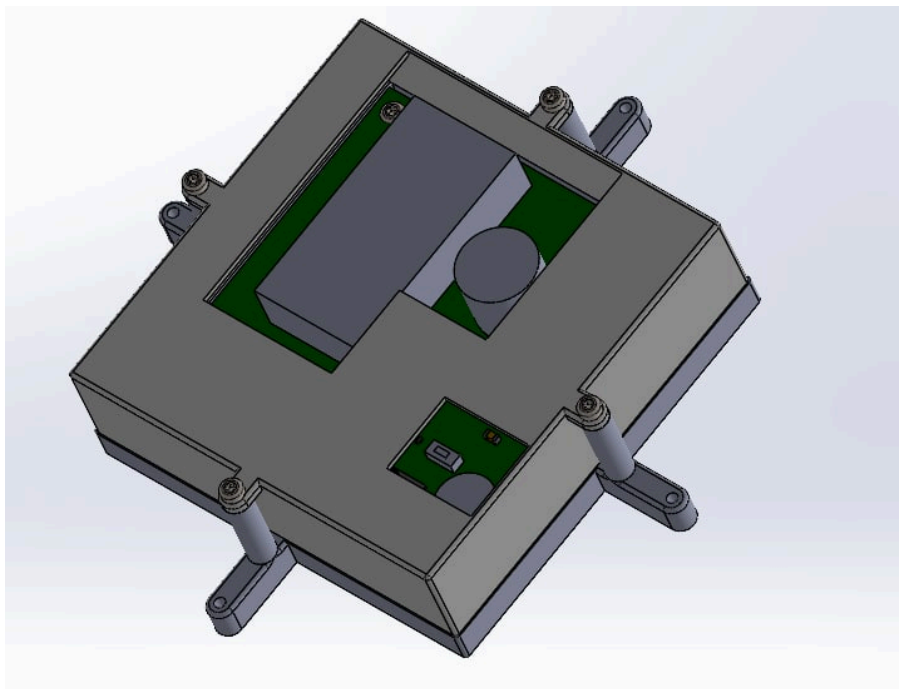


Рисунок 30 — 3D модель готового пристрою з корпусом.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 52  |

### 3.4 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

Для забезпечення коректної роботи пристрою необхідно розробити програмне забезпечення як для мікроконтролера, так і для віддаленого web API сервера.

Мікроконтролер ESP-32 програмується користувачем через протокол обміну даними UART. Для цього на корпусі передбачено USB-роз'єм, що використовується під час процедури перепрошивки. Перетворення даних у необхідний формат для мікроконтролера здійснюється за допомогою допоміжної мікросхеми FT232RL. Програмне забезпечення розробляється мовою програмування C загального призначення [6]. Процес компіляції та завантаження прошивки виконується в інтегрованому середовищі розробки Arduino IDE, яке призначене для створення та завантаження програм на плати різних виробників [7].

Програмне забезпечення для віддаленого web API сервера, який розміщується на хостингу, реалізовано мовою програмування C# для платформи .NET [4]. Як веб-фреймворк використовується ASP.NET Core від компанії Microsoft. Вибір даної технології зумовлений наявністю вбудованого механізму dependency injection, відкритим вихідним кодом та активною підтримкою спільноти [8]. Використовується версія ASP.NET Core 6 на базі .NET 6 (наступник .NET Core), яка на момент виконання роботи є актуальною.

Дана версія була обрана завдяки підвищеній продуктивності порівняно з попередніми релізами [9.10]. Використання .NET 6 також дозволяє зменшити витрати на хостинг, оскільки програмне забезпечення є кросплатформним і може працювати в середовищі Linux, яке є безкоштовним. У випадку використання Windows вартість оренди серверних ресурсів зазвичай є вищою.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 53  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

Сервер обробляє HTTP-запити в асинхронному режимі. Такий підхід підвищує продуктивність у порівнянні із синхронною обробкою.

У випадку синхронної моделі користувачі надсилають запити одночасно, і їх кількість може перевищувати доступні потоки у thread pool (набір потоків, що виконують задачі під час роботи програми). Детальніше про цей механізм буде розглянуто далі.

За таких умов необроблені запити змушені очікувати вільний потік. Аналогічна ситуація виникає, коли потік блокується під час очікування зовнішніх ресурсів, наприклад відповіді від бази даних або іншого сервера. Це є суттєвим недоліком синхронного підходу, оскільки призводить до блокування потоків і зниження загальної ефективності системи.

В асинхронній моделі така проблема відсутня, оскільки під час очікування звільняються потоки з thread pool, які можуть бути використані для обробки інших HTTP-запитів із черги. Завдяки цьому підходу підвищується загальна продуктивність web API сервера. Описаний принцип роботи наведено на наступному рисунку.

Розглянемо принцип роботи асинхронного коду, який використовується web API сервером [11]. Сигнатура асинхронного методу, що повертає об'єкт типу Task (аналог void у мові C#) або Task<T> (узагальнений варіант Task), де <T> може позначати будь-який тип даних, містить ключове слово async, а в тілі методу використовується оператор await. Такий підхід реалізує Task-based Asynchronous Pattern (TAP).

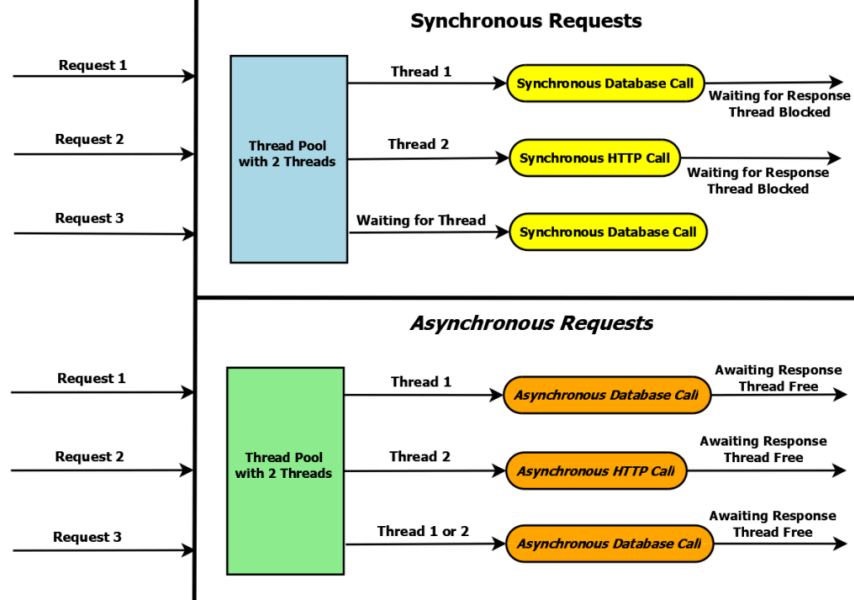


Рис. 31 — Різниця між асинхронним та синхронним режимом роботи

У свою чергу, об'єкт класу Task представляє окрему операцію, яка не повертає значення та зазвичай виконується асинхронно в межах thread pool [12]. Для Task<T> справедливо все вищезазначене, за винятком того, що він додатково повертає значення типу T.

Далі розглянемо принцип роботи TAP. У подальшому викладі вкладені виклики асинхронних методів будемо називати асинхронними операціями, що виконуються всередині зовнішнього асинхронного методу.

Для спрощення прикладів не враховуватимемо підключення просторів імен. Розглянемо простий приклад, який виконує затримку на заданий проміжок часу без блокування потоку:

```

public static async Task DelayOperationAsync() // асинхронний метод
{
    BeforeCall();
    Task task = Task.Delay(1000); //асинхронна операція
    AfterCall();
    await task;
    AfterAwait();
}

```

Хід виконання виглядає наступним чином:

1. Спочатку виконується весь код до першого виклику асинхронної операції. У даному прикладі це метод **BeforeCall**.
2. Далі викликається асинхронна операція. При цьому потік не блокується і не звільняється. Операція повертає результат у вигляді об'єкта задачі (зазвичай типу **Task**), який зберігається у локальній змінній.
3. Після цього виконується метод **AfterCall**, тобто код, що розташований після виклику асинхронної операції, але до оператора **await**.
4. Виконується очікування завершення задачі — **await task**.
5. Якщо на момент виконання **await** асинхронна операція вже завершена, подальше виконання продовжується синхронно в тому ж потоці.
6. Якщо операція ще не завершена, фіксується продовження виконання коду після **await**, а потік повертається в **thread pool** і стає доступним для виконання інших задач.
7. Після завершення асинхронної операції виконується метод **AfterAwait**: або одразу в тому ж потоці (якщо операція вже була завершена), або через отримання вільного потоку з **thread pool**, який продовжує виконання.

Насправді цей метод компілюється в заглушку, в якій ініціалізується згенерований компілятором клас — машина станів. Після цього вона запускається, а з методу повертається об'єкт класу **Task**, який використовується на попередньому етапі.

Особливий інтерес становить метод **MoveNext** цієї машини станів. Він виконує логіку, що існувала в асинхронному методі до компіляційного

|       |      |            |        |      |                     |     |
|-------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|       |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змін. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 56  |

перетворення. Код розбивається на частини між кожним оператором **await**, і кожна частина виконується відповідно до поточного стану машини. Сам метод **MoveNext** реєструється як продовження (continuation) для об'єкта очікування. Завдяки збереженню стану забезпечується відновлення виконання саме з тієї частини коду, яка логічно слідує після очікування.

Треба звернути увагу на те, що асинхронна операція може виконуватися синхронно. Основною умовою цього є те, що сам асинхронний метод не змінює потік, у якому він виконується, тобто продовження виконання відбувається в тому ж потоці.

Наступний приклад наочно демонструє таку поведінку:

```
static async Task Main()
{
    Console.WriteLine(Thread.CurrentThread.ManagedThreadId); // 1
    Task task = Task.Delay(1000);
    Thread.Sleep(1700);
    await task;
    Console.WriteLine(Thread.CurrentThread.ManagedThreadId); // 1
}
```

Далі розглянемо thread pool, який активно використовується в підході TAP. У середині нього міститься набір черг: по одній локальній черзі для кожного потоку та одна глобальна черга. При додаванні нової задачі враховується потік, який ініціював її створення. Якщо це потік із пулу, задача додається до його локальної черги, якщо ні — до глобальної.

Під час вибору роботи потік спочатку перевіряє власну локальну чергу. Якщо вона порожня, він звертається до глобальної черги. У випадку її порожнечі потік може «викрадати» завдання з черг інших потоків. Водночас не слід покладатися на порядок виконання задач, оскільки гарантованої послідовності немає.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 57  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

Кількість потоків у thread pool за замовчуванням визначається системою та залежить від різних факторів, зокрема розміру адресного простору. Якщо кількість запитів перевищує кількість доступних потоків, вони потрапляють у чергу очікування виконання.

Потоки thread pool є фоновими, тобто не утримують завершення процесу: якщо всі foreground-потоки завершили роботу, процес завершується незалежно від стану thread pool.

### 3.5 Основний алгоритм роботи пристрою

Мікроконтролер ESP32 є центральним елементом розробленої системи та забезпечує безперервний моніторинг концентрації диму в повітрі в режимі реального часу. Дані від датчика диму постійно зчитуються та аналізуються програмним забезпеченням пристрою. На основі отриманих значень виконується порівняння з попередньо встановленими пороговими рівнями, що дозволяє своєчасно виявляти ознаки потенційного займання або задимлення приміщення.

У разі перевищення допустимого рівня концентрації диму система автоматично переходить у режим тривоги. Мікроконтролер активує звукову сирену, розташовану на корпусі пристрою, яка призначена для негайного оповіщення людей, що перебувають поблизу місця встановлення сенсора. Використання локальної звукової сигналізації дозволяє оперативно привернути увагу до небезпечної ситуації навіть за відсутності доступу до мережі Інтернет.

Одночасно з активацією сирени ESP32 за допомогою вбудованого модуля Wi-Fi встановлює з'єднання з віддаленим web API сервером та формує HTTP POST-запит, який містить інформацію про виявлену подію. Після обробки запиту сервер виконує надсилання повідомлень користувачу

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 58  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

кількома каналами зв'язку. Зокрема, здійснюється відправлення електронного листа на вказану адресу електронної пошти, а також повідомлення через месенджер Telegram. Такий підхід забезпечує високу надійність системи оповіщення та дозволяє користувачу своєчасно отримати інформацію про можливу пожежну небезпеку незалежно від його місцезнаходження.

Для підвищення зручності експлуатації та мінімізації негативних наслідків помилкових спрацювань у системі передбачено механізм ручного скидання тривоги. Якщо користувач встановлює, що спрацювання датчика було хибним, він може натиснути кнопку скидання, підключену до мікроконтролера. Після натискання кнопки звукова сирена деактивується, а система повертається до штатного режиму моніторингу навколишнього середовища.

Крім того, після виконання процедури скидання ESP32 надсилає додатковий HTTP POST-запит до сервера з інформацією про хибне спрацювання. На основі отриманих даних сервер формує та надсилає користувачу відповідне повідомлення електронною поштою та через Telegram. Це дозволяє вести журнал подій системи, аналізувати причини виникнення помилкових тривог та підвищувати ефективність роботи інтелектуального сенсора задимлення в майбутньому.

### 3.6 Структура та алгоритм роботи програмного забезпечення web API серверу

Як зазначалося раніше, web API сервер реалізовано з використанням ASP.NET Core 6. Для забезпечення процесу нотифікації розроблено два окремі сервіси: перший відповідає за надсилання повідомлень електронною

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 59  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

поштою, а другий — за відправку повідомлень у приватні чати месенджера Telegram.

Екземпляри цих сервісів створюються окремо для кожного HTTP-запиту. Завдяки механізму *dependency injection* та відповідним налаштуванням вони передаються до конструктора контролера разом із параметрами конфігурації. Ці параметри містять інформацію про SMTP-сервер, який використовується для надсилання електронних листів на вказану адресу користувача, а також ідентифікатор чату в Telegram.

Методи зазначених сервісів отримують необхідні дані безпосередньо з конфігураційних файлів, що забезпечує гнучкість налаштування та спрощує подальшу підтримку системи.

Ділянка коду з необхідними налаштуванням сервісів та конфігурації зображена на рис. 32

```
builder.Services.AddEndpointsApiExplorer();
builder.Services.AddSwaggerGen();
builder.Services.Configure<Settings>(builder.Configuration.GetSection("Settings"));
builder.Services.AddScoped<ITelegramMessageSender, TelegramMessageSender>();
builder.Services.AddScoped<IEmailSender, EmailSender>();
```

Рисунок 32 — Ділянка коду з налаштуванням сервісів та конфігурації.

Ділянка коду з конструктором контролеру зображена на рис.33

```
public FireAlarmController(
    ILogger<FireAlarmController> logger,
    IOptions<Settings> settings,
    ITelegramMessageSender telegramMessageSender,
    IEmailSender emailSender)
{
    _logger = logger;
    _settings = settings.Value;
    _telegramMessageSender = telegramMessageSender;
    _emailSender = emailSender;
}
```

Рисунок 33 — Конструктор контролеру

Для двох випадків повідомлення передбачені два маршрути до методів, які приймають POST запити.

Ділянка коду з двома методами, які повідомляють користувача за допомогою електронної пошти та телеграм бота, зображена на рис. 34

```
[HttpPost]
[Route("alarm")]
public async Task<IActionResult> Alarm()
{
    var smtpSettings = _settings.SmtpOptions;

    await telegramMessageSender.SendAlarmAsync(_settings.BotToken, _settings.ChatId);
    await _emailSender.SendAlarmAsync(
        smtpSettings.Host,
        smtpSettings.Port,
        smtpSettings.Username,
        smtpSettings.Password,
        smtpSettings.ClientEmail);

    return Ok();
}

[HttpPost]
[Route("wrongExecution")]
public async Task<IActionResult> WrongExecution()
{
    var smtpSettings = _settings.SmtpOptions;

    await telegramMessageSender.NotifyAboutWrongExecutionAsync(_settings.BotToken, _settings.ChatId);
    await _emailSender.NotifyAboutWrongExecutionAsync(
        smtpSettings.Host,
        smtpSettings.Port,
        smtpSettings.Username,
        smtpSettings.Password,
        smtpSettings.ClientEmail);

    return Ok();
}
```

Рисунок 34 — Ділянка коду з методами для надсилання повідомлення

### 3.7 Програмна симуляція

У цьому розділі наведено результати комп'ютерного моделювання програмного забезпечення пристрою.

На рисунку 35 представлено приклад повідомлень про пожежу та хибне спрацювання, що надсилаються користувачу в месенджері Telegram.

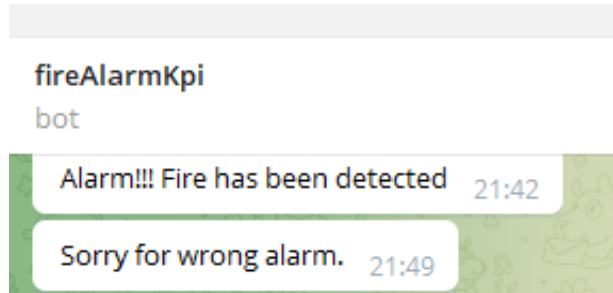


Рисунок 35 — Повідомлення про пожежу та про помилкове спрацювання

На рис. 36 зображений зміст електронного листа з інформацією про пожежу.

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 62  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

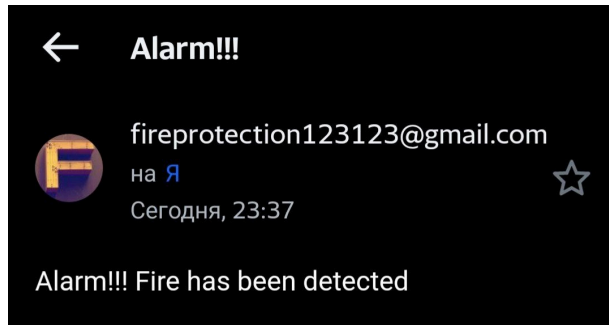


Рисунок 36 — Зміст електронного листа з інформацією про пожежу

На рис. 38 зображений зміст електронного листа з інформацією про помилкове спрацювання.

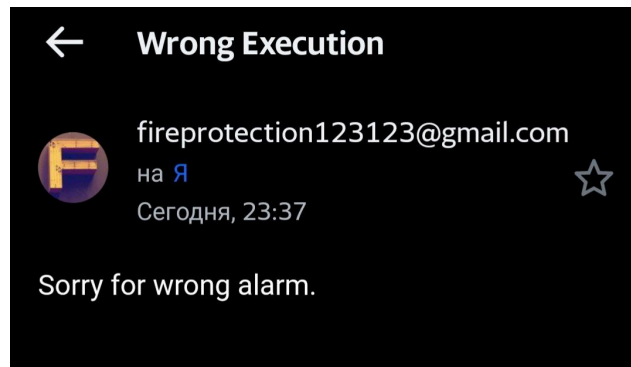


Рис. 38 — Зміст електронного листа з інформацією про помилкове спрацювання

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проекту було розроблено структурну схему пристрою, на основі якої обрано елементну базу для друкованої плати. Компоненти поділено на дві групи за способом монтажу: SMD та вивідні. Обрана елементна база використана під час створення електричної принципової схеми.

Перед трасуванням друкованої плати в САПР Altium Designer було визначено її загальну площу та розраховано ширину провідників. За допомогою цього програмного забезпечення також виконано креслення друкованої плати та складальне креслення електронного модуля.

Наступним етапом стало проектування корпусу в САПР SolidWorks. Корпус виготовлений із пластику та складається з двох частин: нижньої та верхньої. У цьому ж середовищі було створено складальне креслення пристрою.

Для забезпечення коректної роботи пристрою розроблено програмне забезпечення: для мікроконтролера — мовою C, а для віддаленого web API сервера — мовою C#.

Результати програмної симуляції підтвердили відповідність роботи пристрою очікуваній поведінці. Розроблений гаджет повністю задовольняє вимоги технічного завдання.

|      |      |           |        |      |                     |     |
|------|------|-----------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |           |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |           |        |      |                     | 64  |
| Змн. | Арк. | №докумен. | підпис | Дата |                     |     |

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ajax Systems. FireProtect — бездротовий датчик диму з температурним сенсором [Електронний ресурс] URL:  
<https://ajax.systems/ua/products/fireprotect/>
- 2, Купу 10 — автономний фотоелектричний сповіщувач диму [Електронний ресурс] / Jalo Helsinki. –  
URL: . <https://jalohelsinki.com/products/smoke-alarm-kupu-10>
- 3.РАДІОМАГ: РКС Компоненти [Електронний ресурс] –  
URL:<https://www.rcscomponents.kiev.ua/>.
- 4.Snapeda [Електронний ресурс] –  
URL: <https://www.snapeda.com/>.
- 5.Alldatasheet [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:  
<https://www.alldatasheet.com>
6. Arduino IDE [Електронний ресурс]. –  
URL: <https://docs.arduino.cc/software/ide/> .
7. Anderson R., Luttin S., Daniel R. Загальні відомості про ASP.NET Core [Електронний ресурс]. – 2022.  
URL: <https://learn.microsoft.com/aspnet/core/introduction-to-aspnet-core>
8. Мова програмування C# [Електронний ресурс]. –  
URL: <https://learn.microsoft.com/dotnet/csharp/>
9. Toub S. Performance Improvements in .NET 6 [Електронний ресурс] / Stephen Toub. – 2021. –  
URL:  
<https://devblogs.microsoft.com/dotnet/performance-improvements-in-net-6/>
10. Conroy B. Performance Improvements in ASP.NET Core 6 [Електронний ресурс] / Brennan Conroy. – 2022.  
URL:  
<https://devblogs.microsoft.com/dotnet/performance-improvements-in-aspnet-core-6/>

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     | 65  |

11. Async/await в C#: концепція, внутрішня будова, корисні прийоми [Електронний ресурс].

URL: <https://habr.com/ru/post/470830/>

12. Task Class [Електронний ресурс].

URL: <https://learn.microsoft.com/dotnet/api/system.threading.tasks.task>

|      |      |            |        |      |                     |     |
|------|------|------------|--------|------|---------------------|-----|
|      |      |            |        |      | КТПР.022079.01.08ПЗ | Арк |
|      |      |            |        |      |                     | 66  |
| Змн. | Арк. | Надокумен. | підпис | Дата |                     |     |

## ДОДАТОК А

### ПРИКЛАД КОДУ ПРОГРАМИ

Початковий код:

```
public static async Task Delays() {
    Console.WriteLine(1);
    await Task.Delay(1000);
    Console.WriteLine(2);
    await Task.Delay(1000);
    Console.WriteLine(3);
    await Task.Delay(1000);
    Console.WriteLine(4);
    await Task.Delay(1000);
    Console.WriteLine(5);
    await Task.Delay(1000);
}
```

Метод заглушка:

```
[AsyncStateMachine(typeof(DelaysStateMachine))]
[DebuggerStepThrough]
public Task Delays()
{
    DelaysStateMachine stateMachine = new DelaysStateMachine();
    stateMachine.taskMethodBuilder = AsyncTaskMethodBuilder.Create();
    stateMachine.currentState = -1;
    AsyncTaskMethodBuilder builder = stateMachine.taskMethodBuilder;
    taskMethodBuilder.Start(ref stateMachine);
    return stateMachine.taskMethodBuilder.Task;
}
```

Машина станів:

```
[CompilerGenerated]
private sealed class DelaysStateMachine : IAsyncStateMachine
{
    // відкриває поточний стан, тобто визначає, на якому await
    виконується очікування
    // це дозволяє відновити виконання методу з будь-якого await
    public int currentState;

    public AsyncTaskMethodBuilder taskMethodBuilder;

    // поточний об'єкт очікування
    private TaskAwaiter taskAwaiter;

    // усі параметри методу, як і локальні змінні, зберігаються у полях
    // для збереження стану між очікуваннями при "відпусканні" потоку
    public int paramInt;
    private int localInt;

    private void MoveNext()
    {
        int num = currentState;
        try
        {
            TaskAwaiter awaiter5;
            TaskAwaiter awaiter4;
            TaskAwaiter awaiter3;
            TaskAwaiter awaiter2;
            TaskAwaiter awaiter;
            switch (num)
```

```

    {
        default:
            localInt = paramInt; //до першого await
            Console.WriteLine(1); //до першого await
            awaiter5 = Task.Delay(1000).GetAwaiter(); //до першого
await
                if (!awaiter5.IsCompleted) // сам await: перевірка, чи
завершилась асинхронна операція
                    {
                        num = (currentState = 0);
// оновлення стану для відновлення виконання з потрібного місця

            taskAwaiter = awaiter5;
// збереження awaiter у поле, оскільки локальні змінні не зберігаються
після await

            DelaysStateMachine stateMachine = this;
// створення посилання на поточну машину станів для передачі

            taskMethodBuilder.AwaitUnsafeOnCompleted(ref awaiter5, ref
stateMachine);
// реєстрація продовження виконання методу після завершення await

            return;
// вихід з методу до завершення асинхронної операції

            goto II_AfterFirstAwait;
// перехід до коду, що виконується після завершення першого await

```

```
case 0:
    // стан, коли перша асинхронна операція не завершена на момент
    перевірки;
    // виконання продовжується асинхронно після її завершення
        // відновлюємо об'єкт очікування
    awaiter5 = taskAwaiter;

    // очищаємо поле після відновлення стану
    taskAwaiter = default(TaskAwaiter);

    // оновлюємо стан машини для подальшого відновлення виконання
    num = (currentState = -1);

    // перехід до логіки після першого await
    goto II_AfterFirstAwait;

case 1:
    // стан, коли друга асинхронна операція ще не завершена,
    // але вже зареєстровано continuation
    awaiter4 = taskAwaiter;
    taskAwaiter = default(TaskAwaiter);
    num = (currentState = -1);
    goto II_AfterSecondAwait;

case 2:
    // аналогічно для третьої асинхронної операції
    awaiter3 = taskAwaiter;
    taskAwaiter = default(TaskAwaiter);
    num = (currentState = -1);
```

```
goto ll_AfterThirdAwait;

case 3:
// четверта асинхронна операція
awaiter2 = taskAwaiter;
taskAwaiter = default(TaskAwaiter);
num = (currentState = -1);
goto ll_AfterFourthAwait;

case 4:
{
// п'ята асинхронна операція
awaiter = taskAwaiter;
taskAwaiter = default(TaskAwaiter);
num = (currentState = -1);
break;
}

ll_AfterFourthAwait:
awaiter2.GetResult();
Console.WriteLine(5); // код після четвертого await

// п'ята асинхронна операція
awaiter = Task.Delay(1000).GetAwaiter();

if (!awaiter.IsCompleted)
{
num = (currentState = 4);
taskAwaiter = awaiter;
```

```
DelaysStateMachine stateMachine = this;
taskMethodBuilder.AwaitUnsafeOnCompleted(ref    awaiter,    ref
stateMachine);
return;
}
break;
```

II\_AfterFirstAwait:

// перший await завершився — отримуємо результат

```
awaiter5.GetResult();
```

```
Console.WriteLine(2);
```

// друга асинхронна операція

```
awaiter4 = Task.Delay(1000).GetAwaiter();
```

```
if (!awaiter4.IsCompleted)
```

```
{
```

```
num = (currentState = 1);
```

```
taskAwaiter = awaiter4;
```

```
DelaysStateMachine stateMachine = this;
```

```
taskMethodBuilder.AwaitUnsafeOnCompleted(ref    awaiter4,    ref
stateMachine);
```

```
return;
```

```
}
```

```
goto II_AfterSecondAwait;
```

II\_AfterThirdAwait:

```
awaiter3.GetResult();
```

```
Console.WriteLine(4);
```

```

// четверта асинхронна операція
awaiter2 = Task.Delay(1000).GetAwaiter();

if (!awaiter2.IsCompleted)
{
    num = (currentState = 3);
    taskAwaiter = awaiter2;
    DelaysStateMachine stateMachine = this;
    taskMethodBuilder.AwaitUnsafeOnCompleted(ref awaiter2, ref
stateMachine);
    return;
}
goto Il_AfterFourthAwait;

Il_AfterSecondAwait:
awaiter4.GetResult();
Console.WriteLine(3);

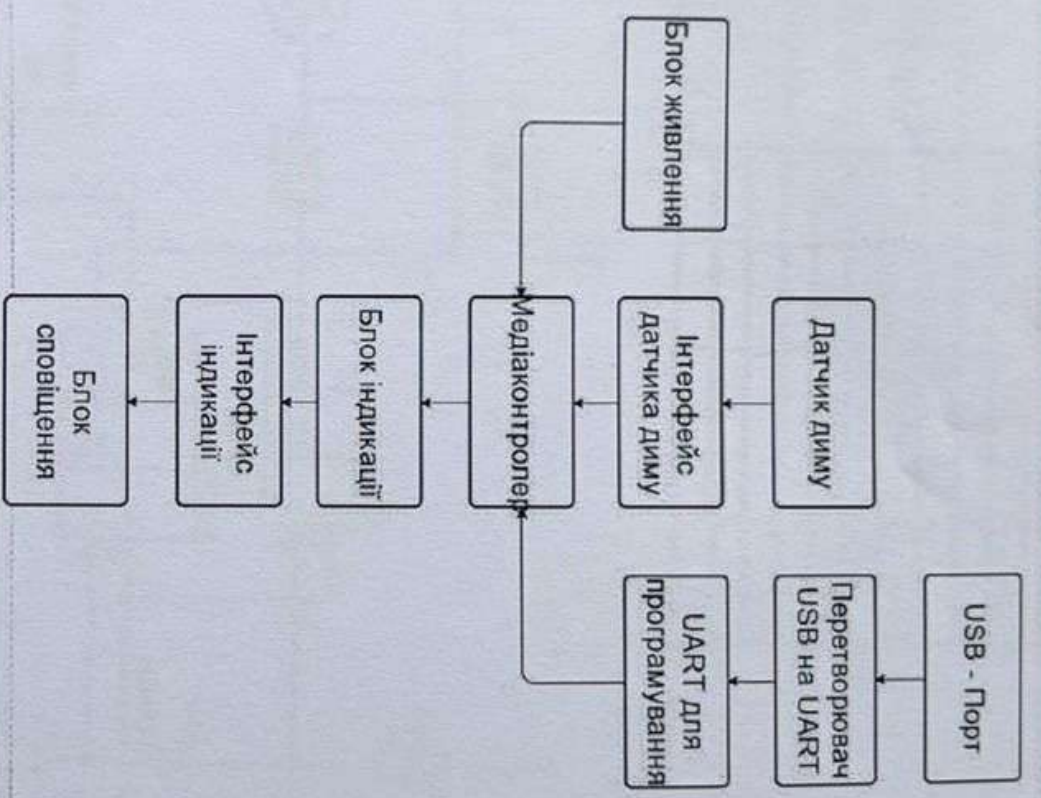
// третя асинхронна операція
awaiter3 = Task.Delay(1000).GetAwaiter();

if (!awaiter3.IsCompleted)
{
    num = (currentState = 2);
    taskAwaiter = awaiter3;
    DelaysStateMachine stateMachine = this;
    taskMethodBuilder.AwaitUnsafeOnCompleted(ref awaiter3, ref
stateMachine);

```

```
return;  
}  
goto ll_AfterThirdAwait;
```

```
// фінал виконання  
awaiter.GetResult();
```



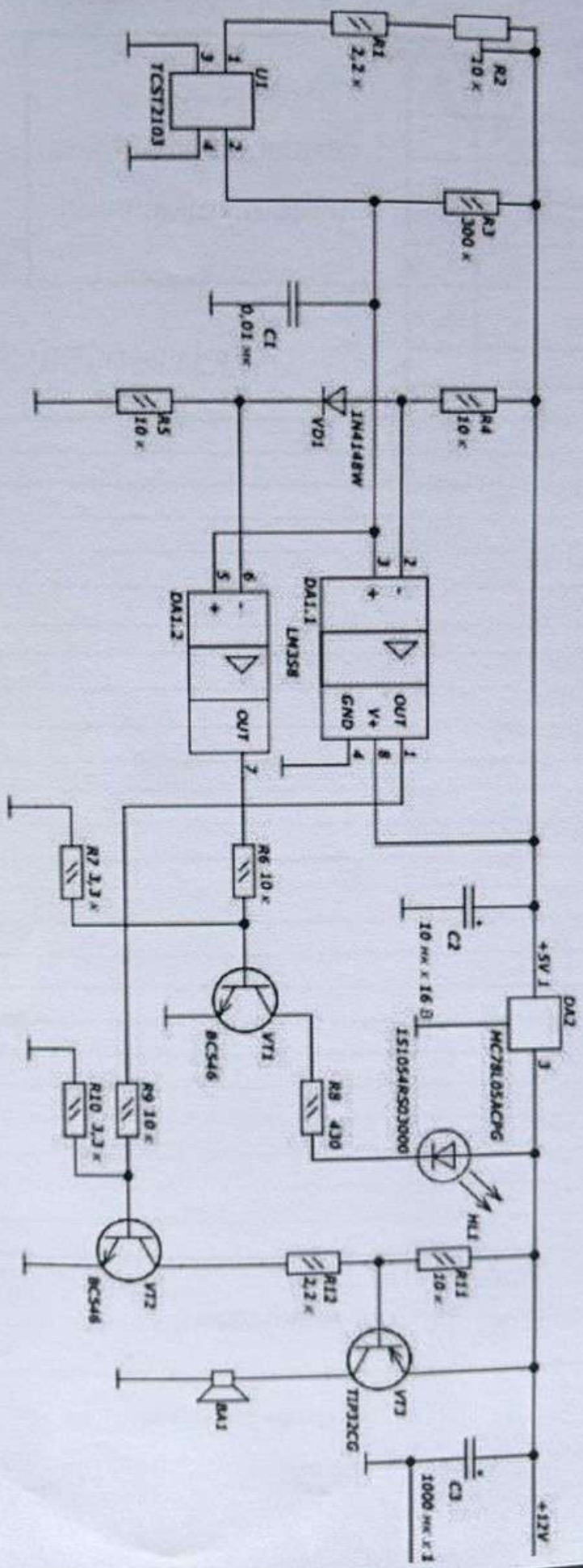
|          |     |                    |                    |                    |
|----------|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| ЗМ       | літ | №Докум.            | підпис             | дата               |
| Розробив |     | Михальчук          | <i>[Signature]</i> | 20.08.26           |
| Тестував |     | Пивовар            | <i>[Signature]</i> | 20.08.26           |
| Інж.пр.  |     | <i>[Signature]</i> | <i>[Signature]</i> | 20.08.26           |
| МДВ      |     | <i>[Signature]</i> | <i>[Signature]</i> | <i>[Signature]</i> |

КТПР.022079.01.08 Е1

Інтелектуальний  
сенсор задимлення

|       |         |          |
|-------|---------|----------|
| Лист  | Маса    | Макс.шт. |
| 4     |         | 44       |
| Аркуш | Аркушів |          |

ХНУ, ФІТ



КТПР.022079.01.08 ЕЗ

Інтелектуальний  
сенсор задимлення

|           |           |        |        |         |
|-----------|-----------|--------|--------|---------|
| ЗМ        | ЛІТ       | №Дохв. | підпис | дата    |
| Розробив  | Михальчук |        |        | 5.06.20 |
| Теревірив | Пивовар   |        |        | 5.06.20 |
| Н.контр.  |           |        |        | 5.06.20 |
| Затв.     |           |        |        | 5.06.20 |

|          |        |       |
|----------|--------|-------|
| ЛІТ      | Мага   | Макут |
| Аркуш    | Аркуші |       |
| ХНУ, ФІТ |        |       |

**ПЕРЕЛІК ЕЛЕМЕНТІВ**

| Позн. | Найменування | Кіл | Примітка |
|-------|--------------|-----|----------|
|       | Резистор     |     |          |
| R1    | 2,2 кОм      | 1   |          |
| R2    | 10 кОм       | 1   |          |
| R3    | 300 кОм      | 1   |          |
| R4-6  | 10 кОм       | 3   |          |
| R7    | 3,3 кОм      | 1   |          |
| R8    | 430 Ом       | 1   |          |
| R9    | 10 кОм       | 1   |          |
| R10   | 3,3 кОм      | 1   |          |
| R11   | 10 кОм       | 1   |          |
| R12   | 2,2 кОм      |     |          |
|       | Мікросхема   |     |          |
| C1    | LM358        | 1   |          |
|       | Транзистор   |     |          |
| VT1   | TIP32CG      | 1   |          |
| VT2   | BC546        | 1   |          |
|       | Діод         |     |          |
| VD1   | 1N4148W      | 1   |          |
|       | Оптрон       |     |          |
| U1    | TCST2103     | 1   |          |

**КТПР.022079.01.08 ПЕ**

| ЗМ        | Лист | № докум   | підп. | дата     |
|-----------|------|-----------|-------|----------|
| Розроб    | 1    | Михальчук |       | 06.06.25 |
| Перевірів | 1    | Пивовар   |       | 06.06.26 |
| Н.контр   | 1    | Пивовар   |       | 06.06.26 |
| Замв      | 1    | КТОСОНЕ   |       | 06.06.26 |

**Інтелектуальний  
сенсор задимлення**  
перелік елементів

| Літр.                                       | Аркуш | Аркушів |
|---|-------|---------|
|   | 1     | 1       |
| Хмельницький<br>національний<br>університет |       |         |

Завідувачу кафедри телекомунікацій, медійних  
та інтелектуальних технологій (ТМІТ)  
Сергію ПІДЧЕНКО  
здобувача вищої освіти рівня бакалавр,  
студента 4 курсу, гр. ТР2-22-1  
Олексія МИХАЛЬЧУКА

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційного проекту до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та AntiPlagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

26.05.26

дата



підпис

Михальчук О.О.

## Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

**Автор:** Олексій Михальчук TP2-22-1

**Співавтор:**

**Назва:** Інтелектуальний сенсор задимлення

**Науковий керівник:** Олег ПИВОВАР, к.т.н., доц.

**Підрозділ:** Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

**Коефіцієнт подібності 1:** 14.72%

**Коефіцієнт подібності 2:** 1.35%

**Мікропробіли:** 0

**Заміна букв:** 37

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2026-06-06 22:03:36.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

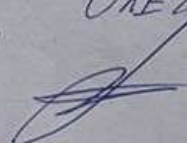
Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

Дата 6.06.2026 р

експерт

ОЛЕГ ПИВОВАР  


# Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-16.718

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словниці перевірки: UA, US, RU. Помилки в документах: 11%

|  |          |         |                             |         |
|--|----------|---------|-----------------------------|---------|
| ID: 272794<br>Назва: Інтелектуальний сенсор запислення<br>Додано в БД: 2026-05-29<br>Автор: Міхалычук Олександрович<br>Керівник: Пировар Олег Сергійович<br>Консультанти:<br>Опоненти: | Документ |         | Сумарний збіг по Базі Даних |         |
|  | Символи  | Лексеми | Символи                     | Лексеми |
|  | 45139    | 450     | 1337 (3%)                   | 21 (5%) |

Джерело платігу

| ID | Опис | Назвність платігу в документі |         |
|----|------|-------------------------------|---------|
|    |      | Символи                       | Лексеми |
|    |      |                               |         |

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ  
Телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій (ТМІТ)

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Інтелектуальний сенсор задимлення  
Автор Михальчук Олексій Олександрович, гр. TP2-22-1  
Освітня програма Телекомунікації, медійні технології та інтелектуальні мережі  
Рівень вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка  
Науковий керівник: Пивовар Олег Сергійович к.т.н., доц.

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

| №   | Висновок  | Позначка про відповідність |
|-----|---|----------------------------|
| 1   | Ознаки академічного плагіату  |                            |
| 1.1 | Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.   | Відповідає                 |
| 1.2 | Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.   |                            |
| 1.3 | Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат. |                            |
| 1.4 | Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.  |                            |
| 2   | Інші види порушень академічної доброчесності  |                            |

Підтвердження:

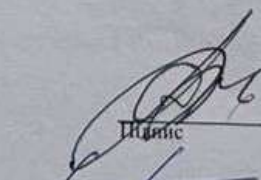
Результати перевірки на плагіат системою Antiplagiarism – 0.0%.

Результати перевірки на плагіат системою Strikeplagiarism – 14,7%.

Виявлені мінімальні запозичення є випадковими збігами або результатами обробки форм стандартних бланків та не є плагіатом.

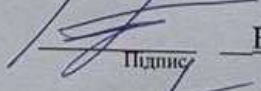
Дата 6.06.2026

Завідувач кафедри ТМІТ

  
Підпис

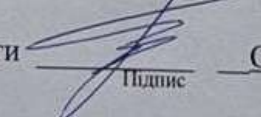
Сергій ПІДЧЕНКО  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми

  
Підпис

Віктор СТЕЦЮК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис

Олег ПИВОВАР  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

## РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційний проєкт студента групи ТР2-22-1

Михальчука Олексія Олександровича

на тему «Інтелектуальний сенсор задимлення»

Зважаючи на ситуацію із військовим вторгненням Росії в Україну тема проєкту особливо актуальна та відповідає спеціальності 172 «Телекомунікації та радіотехніка». Кваліфікаційний проєкт складається із текстової частини, що складається із вступу, 3 розділів, висновків з виконання проєкту, списку використаних джерел та додаткових матеріалів у кінці звіту. Загальний обсяг роботи в якому викладено основний зміст складає 66 сторінок. Графічна частина представлена кресленнями електричної структурної та принципової схем. Також присутній лістинг програмного забезпечення значного обсягу.

В першому розділі подано аргументація доцільності розробки, аналіз аналогів із виділенням їх сильних та слабких сторін. Другий розділ присвячений розробці схемотехнічної частини пристрою із використанням прогресивної елементної бази. Третій розділ роботи охоплює як конструкторську розробку пристрою на рівні модуля першого структурного рівня, так і програмну частину взаємодії в рамках гнучкого функціонування як інтелектуальний пристрій.

Особливістю проєкту є значний обсяг не тільки схемотехнічної частини, а також частини конструювання друкованих плат та комплексної взаємодії із програмним середовищем по сучасним провідним та безпроводним інтерфейсом.

Перевагами проєкту є комплексність розгляду питань щодо реалізації пристрою, акуратність та використання новітніх технологій щодо Інтернету речей, використання прогресивної мікроконтролерної елементної бази та значний обсяг розробленого програмного забезпечення.

Недоліками проєкту є наявність помилок під час оформлення графічної документації схем, занадто великий розмір деяких рисунків, нечіткість формулювань, слабкість розробки вимог та обмежена кількість вимог щодо конструювання пристрою.

В цілому кваліфікаційний проєкт Михальчука Олексія Олександровича на тему «Інтелектуальний сенсор задимлення» виконано на хорошому технічному рівні та може бути рекомендовано після доопрацювання до впровадження.

Проєкт заслуговує оцінку "ДОБРЕ".

Рецензент:

Косенков В.Ф., проф., К.Т.Н.

11.06.2026.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Михальчук Олексій Олександрович на захист кваліфікаційної роботи

(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 172 - Телекомунікації та радіотехніка

На тему: Інтелектуальний сенсор задимлення

Кваліфікаційна робота, рецензія і довідка про перевірку на академічні запозичення додаються.

В.о. Декан факультету



Сергій Лисенко

(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Михальчук О.О. з 2022 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 17,39 %, задовільно 82,61 %.

шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 8,70 %, С 8,70 %, D 34,78 %, E 47,83 %.

Методист факультету

[Signature]  
(підпис)

Тарасенко Катерина  
(ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Олексій МИХАЛЬЧУК, під час виконання курсової роботи застосував комплексний підхід до урештування апарату програмного забезпечення актуального в чинних умовах із розробкою схеми, плат та програмного забезпечення. До урештування ставився старанно, урештування дослухався до порад керівника та нормоконтролю, основи технічні рішення прийняв обґрунтовано та самостійно відстоюючи власну думку.

Оцінка кваліфікаційної роботи

Керівник кваліфікаційної роботи

[Signature]  
(підпис)

Олег ПИВОВАР  
(ім'я, прізвище)

" 6 " 06 2026 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кваліфікаційну роботу розглянуто. Студент Михальчук О.О. допускається до її захисту на екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

Телекомунікацій, медіа та інформаційних технологій  
(назва)

Сергій ПІДЧЕНЮ

(підпис, ім'я, прізвище)

" 6 " 06 2026 р.

# Хмельницький національний університет

Факультет інформаційних технологій  
Кафедра Телескомунікації, медійні технології та  
інтелектуальні технології

Інтелектуальний сенсор  
Задимлення

Виконав студент 4го курсу, група ТР2-22-1  
Михальчук О.О  
Керівник канд. техн. наук, доц. Пивовар  
Олег Сергійович.

# Мета кваліфікаційного проєкту

Основною метою кваліфікаційного проєкту є розробка інтелектуального сенсора задимлення на основі технологій Інтернету речей, здатного здійснювати безперервний моніторинг стану повітря, своєчасно виявляти ознаки задимлення та оперативно сповіщати користувача про потенційну пожежну небезпеку за допомогою сучасних засобів зв'язку.



# Аналог розроблюваної системи — Ajax Systems

## Переваги:

- Висока надійність та точність виявлення.
- Зручне дистанційне керування через мобільний застосунок.
- Швидке інформування про загрозу.
- Простота встановлення та экс

## Недоліки:

- Висока вартість обладнання.
- Залежність від екосистеми Ajax.
- Обмежені можливості апаратної модернізації..



Рис. 1 Прилад Ajax FireProtect

# Аналог розроблюваної системи ІП 212-50М2



## Переваги:

- Простота встановлення та експлуатації.
- Автономна робота без підключення до мережі.
- Низька вартість пристрою.
- Надійне виявлення диму в приміщенні.

## Недоліки:

- Відсутність віддаленого моніторингу.
- Неможливість надсилання повідомлень користувачу.
- Відсутність інтеграції з IoT-системами.
- Обмежені можливості збереження та аналізу даних.

Рис. 2 Прилад ІП 212-50М2

# Типова схема датчика задимлення

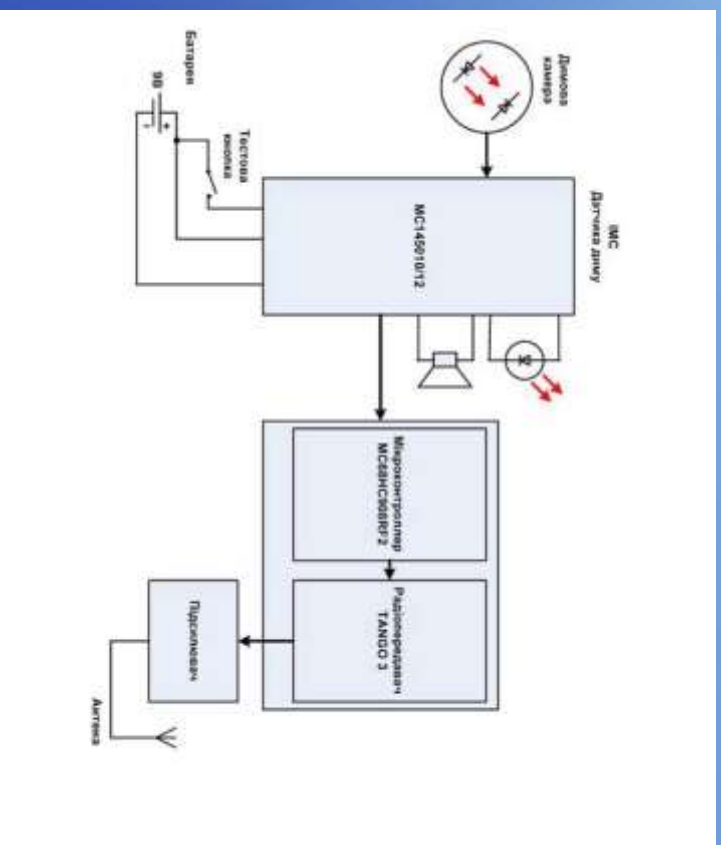
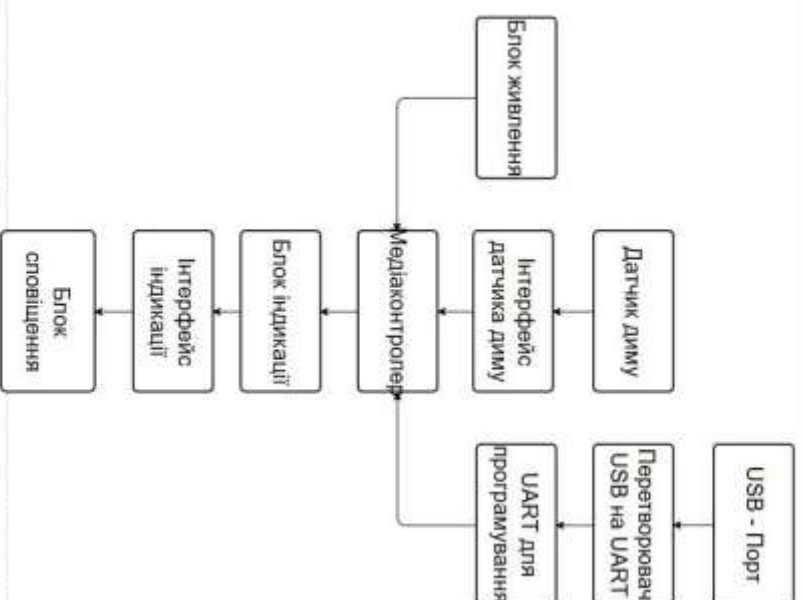
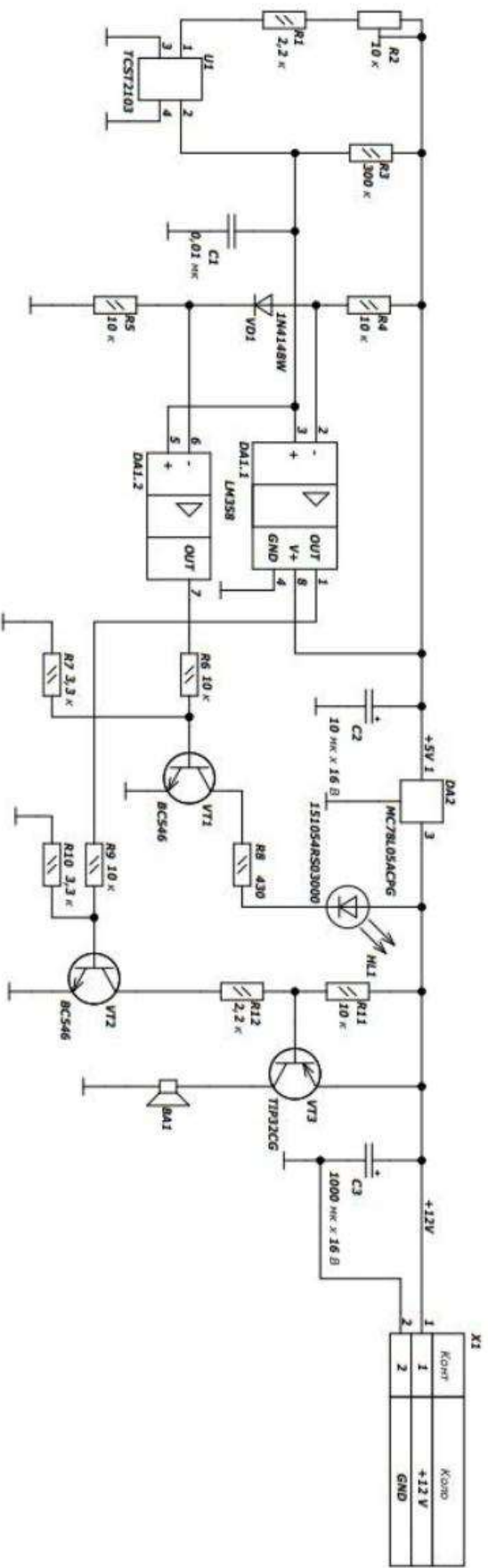


Рис.3 Приклад схеми типово сенсору задимлення

# Структурна схема пристрою



# Схема електрична принципова



# Перелік елементів

|       |                                 |   |  |  |
|-------|---------------------------------|---|--|--|
|       |                                 |   |  |  |
| R11   | Резистор 10 КОМ 0,125 Вт 5%     | 1 |  |  |
| R10   | Резистор 3,3 КОМ 0,125 Вт 5%    | 1 |  |  |
| R9    | Резистор 10 КОМ 0,125 Вт 5%     | 1 |  |  |
| R8    | Резистор 430 Ом 0,125 Вт 5%     | 1 |  |  |
| R7    | Резистор 3,3 КОМ 0,125 Вт 5%    | 1 |  |  |
| R4-6  | Резистор 10 КОМ 0,125 Вт 5%     | 3 |  |  |
| R3    | Резистор 300 КОМ 0,15 Вт 25%    | 1 |  |  |
| R2    | Резистор 10 КОМ 0,125 Вт 5%     | 1 |  |  |
| R1    | Резистор 2,2 КОМ 151054RSS03000 | 1 |  |  |
|       | Світлодіод МС78L08АСРG          | 1 |  |  |
| c1    | Мікросхема LM358                | 1 |  |  |
| X1    | Джерело живлення MN12           |   |  |  |
| VT1,2 | Транзистор ТР32СG               | 2 |  |  |
| VD1   | Діод 1N4148W                    | 1 |  |  |
| U1    | Оптрон ТССТ2103                 | 1 |  |  |

## ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто класичні та сучасні системи виявлення задимлення. Встановлено, що традиційні датчики забезпечують лише локальне сповіщення та не підтримують дистанційний моніторинг.

Сучасні IoT-рішення, такі як Ajax Systems, підвищують ефективність реагування, але є дорогими та закритими.

Розроблена система на базі ESP32 дозволяє здійснювати безперервний моніторинг, локальне та віддалене сповіщення через Інтернет-сервіси, що робить її доступною та функціональною альтернативою класичним пристроям.

Дзякую за увагу!

