

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ДИМОВИХ СПОВІЩУВАЧІВ»

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Присяжний В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. ІРТС

Притула М.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц., доцент каф. ІКСТ

Семенова О.О.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«14» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Присяжному Владиславу Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів»
керівник роботи к.т.н., ст. викладач каф. ІРТС Припула М.О.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 17.09.2024 р. №310.

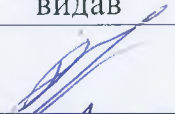
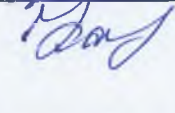
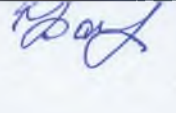
2. Строк подання студентом роботи 13.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: концентрація тестового диму – 0.1–1.0 мг/л; частота слідування димових імпульсів – 10 Гц; тривалість генерації диму – 100–500 мс; чутливість димових сповіщувачів – 0.02–0.15 дБ/м; напруга живлення – 5 В; потужність пристрою – до 10 Вт; робоча температура – від -10 °С до +50 °С; ємність акумулятора – 4000 мА·год; інтерфейс зв'язку – Wi-Fi 2.4 ГГц; максимальна відстань до об'єкта тестування – до 2 м.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз методів тестування димових сповіщувачів. Розробка радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів. Експериментальне дослідження радіотехнічної системи. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Структурна схема радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів. Електрично-принципова схема дослідного генератора диму. Друкована плата у середовищі Altium Designer. Друкована плата у 3D-вимірі дослідного генератора диму. Змодельований корпус у середовищі SolidWorks. Загальний вигляд корпусу дослідної радіотехнічної системи. Вигляд корпусу у розрізі. Зображення проведення експерименту з дослідним зразком.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	к.т.н., ст. викладач каф. ІРТС Притула М.О.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-12.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	14.12.2024-17.12.2024	

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Присяжний В.М.

Притула М.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Присяжний В.М. Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма – Радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 115 с. На українській мові. Бібліогр.: 35 назв; Табл. 12; Рис. 22.

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено розроблення та дослідження радіотехнічної системи для тестування димових сповіщувачів. Розглянуто актуальність автоматизації процесів тестування протипожежного обладнання. Проведено аналіз методів і систем тестування димових сповіщувачів, їх чутливості, швидкості реакції та стійкості до зовнішніх впливів. Розроблено структурну та електрично-принципову схеми радіотехнічної системи. Виготовлено прототип генератора диму, який забезпечує створення контрольованого середовища для тестування. Здійснено експериментальні дослідження системи, що підтвердили її ефективність і відповідність сучасним вимогам.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки для економічної частини.

Ключові слова: димові сповіщувачі, тестування, радіотехнічна система, генератор диму, протипожежна безпека.

ABSTRACT

Prysiashnyi V.M. Radio engineering system for testing smoke detectors. Master's qualification work in specialty 172 - Electronic communications and radio engineering, educational program - radio engineering: VNTU, 2024. 115 p. In Ukrainian. Bibliography: 35 titles; Table 12; Fig. 22.

The master's qualification thesis presents the development and research of a radio engineering system for testing smoke detectors. The relevance of automating the testing processes for fire safety equipment is analyzed. Methods and systems for testing smoke detectors, their sensitivity, response time, and resistance to external influences are studied. The structural and electric circuit diagrams of the radio engineering system are designed. A prototype of a smoke generator was developed to create a controlled environment for testing. Experimental studies of the system were conducted, confirming its efficiency and compliance with modern requirements.

Additionally, the master's thesis includes calculations for the economic section.

Keywords: smoke detectors, testing, radio engineering system, smoke generator, fire safety.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТЕСТУВАННЯ ДИМОВИХ СПОВІЩУВАЧІВ	14
1.1 Аналіз характеристик димових сповіщувачів	14
1.2 Аналіз методів тестування димових сповіщувачів.....	16
1.3 Огляд існуючих систем тестування димових сповіщувачів	20
1.4 Висновки до розділу	26
2 РОЗРОБКА РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ДИМОВИХ СПОВІЩУВАЧІВ	29
2.1 Розробка структурної схеми радіотехнічної системи.....	29
2.2 Розробка електрично-принципової схеми радіотехнічної системи	31
2.3 Конструкторське проектування радіотехнічної системи	45
2.4 Висновки до розділу	62
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ	64
3.1 Опис установки для проведення експериментальних досліджень	64
3.2 Експериментальне дослідження дослідного зразку за обсягами випущеного диму	67
3.3 Експериментальне дослідження за енергоефективністю.....	70
3.4 Аналіз результату експериментального дослідження.....	74
3.5 Висновки до розділу	79
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	81
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	81
4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	82
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	83
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	96
4.5 Висновки до розділу	100

ВИСНОВКИ	102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	103
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	106
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи	111
Додаток В (довідниковий). Лістинг програми	113

ВСТУП

Актуальність

Актуальність тестування димових сповіщувачів обумовлена зростаючими вимогами до безпеки житлових, комерційних та промислових будівель. Димові сповіщувачі відіграють ключову роль у виявленні пожежі на ранній стадії, що дозволяє своєчасно вжити заходів для евакуації людей і мінімізації збитків.

Зростання щільності забудови, урбанізація та використання сучасних матеріалів, які можуть горіти з виділенням токсичних речовин, підвищують необхідність забезпечення надійної роботи систем протипожежного захисту, до яких належать і димові сповіщувачі. Їх ефективність напряму залежить від точності і своєчасності виявлення диму, що робить тестування цих пристроїв критично важливим аспектом в процесі їх встановлення та експлуатації.

Законодавчі норми та стандарти, такі як національні та міжнародні правила пожежної безпеки (наприклад, EN 54, NFPA 72), вимагають регулярного тестування димових сповіщувачів для забезпечення їх працездатності та відповідності технічним вимогам. Неналежна робота димових сповіщувачів може призвести до фатальних наслідків, як-от невчасна евакуація або пропущення пожежі, що значно підвищує ризик для життя та майна. Тому питання тестування, калібрування та оцінки надійності цих пристроїв є особливо актуальним в сучасних умовах.

Враховуючи постійний розвиток технологій, зокрема поява інтелектуальних систем сповіщення та автоматизованих систем пожежогасіння, важливо проводити не лише стандартні випробування, а й розробляти нові методи тестування, які будуть враховувати специфіку сучасних умов експлуатації та відповідати останнім технічним інноваціям.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження можливостей та розробка прототипу радіотехнічної системи для генерації диму та аналізу наявності сповіщувача в полі дії пристрою. Для досягнення цієї мети планується розробити методологію

тестування димових сповіщувачів з використанням даного пристрою, що дозволить автоматизувати процес перевірки працездатності сповіщувачів на різних етапах їх експлуатації. Особливий акцент буде зроблено на створенні системи, здатної забезпечити контрольоване середовище для випробувань, що дозволить підвищити точність та ефективність перевірки відповідності сповіщувачів нормативним вимогам.

Розробка такого прототипу сприятиме вдосконаленню систем пожежної безпеки, оскільки дозволить не тільки поліпшити процес тестування, а й зменшити ймовірність виходу з ладу димових сповіщувачів під час експлуатації, що є важливим для забезпечення своєчасного реагування на загрозу пожежі.

Об'єктом дослідження

Об'єктом дослідження є процеси тестування димових сповіщувачів, що використовуються у системах пожежної сигналізації та протипожежного захисту. Тестування димових сповіщувачів включає в себе перевірку їхньої здатності своєчасно й точно виявляти появу диму в контрольованому середовищі, відповідати на зміну концентрації часток диму в повітрі, а також функціонувати без збоїв у різних експлуатаційних умовах.

Основна увага приділяється саме процесу випробувань, який включає:

1) Генерацію контрольованого димового середовища – створення таких умов, за яких можна моделювати різні сценарії появи диму: від невеликого загоряння до масштабних викидів диму. Важливим аспектом є контроль концентрації диму, щоб забезпечити точність вимірювань і відповідність нормативним вимогам.

2) Визначення чутливості сповіщувачів – оцінка того, наскільки швидко і точно пристрій може виявляти появу диму в різних умовах. До уваги береться ймовірність хибних спрацювань, а також час реакції системи на загрозу.

3) Перевірка надійності та стабільності роботи – дослідження того, як сповіщувачі функціонують в умовах змінної вологості, температури, повітряних потоків та інших факторів, що можуть впливати на точність виявлення диму.

Тестування передбачає виявлення можливих збоїв, помилкових спрацювань або відмов у роботі.

4) Тестування в реальних умовах та симуляції різних сценаріїв – моделювання ситуацій, що можуть виникнути в реальних умовах, включно із тестами в приміщеннях з різними типами вентиляції, площами та рівнями забруднення повітря.

5) Об'єкт дослідження охоплює не лише димові сповіщувачі як пристрої, але й методологію їхнього тестування, технічні засоби для створення контрольованих умов випробувань (такі як системи генерації диму) та алгоритми обробки й аналізу отриманих результатів.

Для досягнення поставленої мети у магістерській кваліфікаційній роботі розв'язуються наступні задачі:

- проаналізувати існуючі радіотехнічні системи контролю якості повітря та обґрунтувати переваги розробленої радіотехнічної системи для аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні;
- розглянути принципи роботи та побудови структурних схем радіотехнічних систем;
- провести дослідження обраної компонентної бази для розробки радіотехнічної системи, яка відповідає сучасним вимогам якості;
- провести розробку радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні.

Методи дослідження

Методи дослідження включають комплекс підходів, що використовуються для розробки, моделювання та тестування системи для перевірки димових сповіщувачів, а також для аналізу їхньої ефективності та надійності. Основними методами, застосованими в дослідженні, є:

1) Аналіз літературних джерел та нормативної бази:

- Огляд існуючих досліджень, стандартів та вимог до димових сповіщувачів, таких як EN 54, NFPA 72 та інших міжнародних та національних нормативів.

- Вивчення технічних характеристик різних моделей сповіщувачів і підходів до їхнього тестування.

2) Моделювання та симуляція:

- Використання комп'ютерних моделей для симуляції процесу виявлення диму димовими сповіщувачами. Це дозволяє визначити, як пристрої будуть працювати в різних умовах, таких як різні рівні концентрації диму, вологість, температурні зміни та інші фактори навколишнього середовища.

- Моделювання роботи прототипу системи тестування, яка створює контрольоване димове середовище для перевірки чутливості сповіщувачів.

3) Експериментальні дослідження:

- Лабораторні випробування:

Проведення практичних тестів з використанням створеного прототипу для генерації диму та оцінки ефективності димових сповіщувачів. Під час експериментів вимірюються такі параметри, як час реакції сповіщувача, точність виявлення, ймовірність хибних спрацювань.

- Польові випробування: тестування роботи димових сповіщувачів у реальних умовах (на об'єктах, де вони використовуються) для перевірки їх ефективності та стабільності функціонування в умовах експлуатації.

4) Інженерне проектування:

- Розробка та конструювання прототипу радіотехнічної системи, яка може генерувати контрольовані об'єми диму та визначати наявність і працездатність димових сповіщувачів у полі її дії.

- Використання принципів радіотехніки, для забезпечення бездротової передачі даних про стан сповіщувача, що дозволяє відстежувати роботу пристроїв на відстані.

5) Статистичний аналіз результатів:

- Обробка даних, отриманих в ході експериментальних випробувань, з метою оцінки надійності, точності та стабільності роботи димових сповіщувачів.

- Аналіз результатів випробувань для визначення рівня відповідності сповіщувачів нормативним вимогам і стандартам.

Цей комплекс методів забезпечує всебічне вивчення процесу тестування димових сповіщувачів та дозволяє розробити прототип, що відповідає сучасним вимогам та забезпечує ефективність системи пожежної сигналізації.

Наукова новизна одержаних результатів

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні інноваційного підходу до тестування димових сповіщувачів за допомогою спеціалізованої радіотехнічної системи, здатної генерувати контрольовані об'єми диму та проводити аналіз наявності сповіщувачів у полі дії пристрою. Основними аспектами новизни є:

1) Розробка прототипу автоматизованої системи для генерації диму:

Запропоновано радіотехнічний пристрій, який здатен створювати контрольовані умови для тестування димових сповіщувачів з можливістю точного налаштування концентрації диму та його розподілу в просторі. Це дозволяє моделювати різні сценарії загорянь і виявляти реакцію сповіщувачів у різних умовах експлуатації.

2) Інтеграція бездротових технологій для аналізу працездатності димових сповіщувачів:

Запропонована система забезпечує віддалений моніторинг роботи димових сповіщувачів у режимі реального часу, що дозволяє проводити тестування без фізичного доступу до кожного окремого пристрою. Це особливо важливо для великих об'єктів з численними сповіщувачами або у важкодоступних місцях.

3) Вдосконалення методів тестування димових сповіщувачів:

Розроблено новий методологічний підхід до тестування димових сповіщувачів, який передбачає поєднання лабораторних експериментів та моделювання умов експлуатації. Це дозволяє отримати більш точні результати щодо надійності роботи сповіщувачів у реальних умовах, зокрема при зміні таких факторів, як вологість, температура та інтенсивність повітряних потоків.

4) Застосування інноваційних алгоритмів для оцінки чутливості сповіщувачів:

Запропоновано використання алгоритмів для оцінки рівня чутливості сповіщувачів до змін концентрації диму, що дозволяє більш точно визначити межі ефективної роботи пристрою та оцінити ризики хибних спрацювань чи не виявлення загоряння.

5) Оптимізація процесу тестування димових сповіщувачів:

Завдяки розробленій системі вдалося автоматизувати процес запуску тестування димових сповіщувачів, що значно скорочує час і ресурси, необхідні для перевірки великої кількості пристроїв. Автоматизація тестування також підвищує точність результатів за рахунок зменшення людського фактору та можливих помилок під час випробувань.

Ці нововведення не лише дозволяють покращити процес тестування димових сповіщувачів, але й сприяють загальному підвищенню рівня пожежної безпеки, завдяки більш точному та надійному виявленню потенційних загроз.

Особистий внесок здобувача

Основні положення і результати магістерської кваліфікаційної роботи отримані автором практично самостійно.

Структура і обсяг роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається з 4 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел.

Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи

Патент на корисну модель № 152457 МПК А61F9/08 . (Україна). Пристрій для орієнтації сліпих у просторі у вигляді бейсболки / Якименко О.А., Присяжний В.М., Клочко В.І., Коломієць А.А.// Заявка - № u202107455; заявл. 20.12.2021; опубл. 08.02.2023, бюл. № 6/2023 [1].

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТЕСТУВАННЯ ДИМОВИХ СПОВІЩУВАЧІВ

1.1 Аналіз характеристик димових сповіщувачів

Димові сповіщувачі є важливими компонентами систем пожежної сигналізації, призначеними для виявлення диму в повітрі, що може свідчити про початок пожежі. Ці пристрої забезпечують своєчасне попередження про загрозу, що дозволяє вжити необхідних заходів для евакуації людей і зниження ризику матеріальних втрат [2].

Димові сповіщувачі працюють на основі різних принципів виявлення диму, серед яких найпоширенішими є: Оптичні, іонізаційні та комбіновані.

Оптичні сповіщувачі використовують інфрачервоні або видимі лазерні промені. Коли дим входить в камеру сповіщувача, він розсіює світло, що викликає спрацювання сигналізації. Цей тип сповіщувачів відрізняється високою чутливістю та швидкістю реакції.

Іонізаційні сповіщувачі працюють на основі зміни електричного струму в газі, що виникає в результаті взаємодії диму з іонізуючими частками. Цей метод є більш чутливим до швидкоплинних, палаючих вогнищ, але може бути схильний до помилкових спрацювань від пилу та парів.

Комбіновані сповіщувачі поєднують у собі як оптичні, так і іонізаційні принципи, що дозволяє підвищити ефективність виявлення диму в різних ситуаціях [3].

Димові сповіщувачі класифікуватися за принципом дії:

- 1) Оптичні;
- 2) Іонізаційні;
- 3) Комбіновані.

За способом встановлення:

- 1) Підвісні сповіщувачі, які монтуються на стелі;
- 2) Настінні сповіщувачі, які встановлюються на стінах;

3) Портативні сповіщувачі, які можуть використовуватися в різних місцях.

За типом живлення:

- 1) Провідні сповіщувачі, які підключаються до електромережі;
- 2) Бездротові сповіщувачі, що працюють на батареях.

При виборі димових сповіщувачів важливо враховувати такі ключові характеристики:

1) Чутливість - вимірюється в мікрограмів диму на літр повітря. Висока чутливість забезпечує раннє виявлення диму, але може призвести до хибних спрацьовувань.

2) Швидкість реакції - час, необхідний для виявлення диму та активації сигналізації. Це критично важливо для зменшення ризику ураження людей.

3) Діапазон температури - димові сповіщувачі повинні функціонувати в певному діапазоні температур, щоб уникнути впливу екстремальних умов на їх ефективність.

4) Надійність та стійкість до зовнішніх впливів: сповіщувачі повинні бути стійкими до перепадів температури, вологості, забруднення та механічних впливів [4].

Димові сповіщувачі використовуються в різних сферах життя, включаючи:

- 1) Житлові приміщення: квартири, будинки, котеджі;
- 2) Комерційні об'єкти: офіси, магазини, торговельні центри;
- 3) Промислові об'єкти: заводи, склади, виробництва;
- 4) Громадські заклади: школи, лікарні, готелі, ресторани.

Димові сповіщувачі підлягають серйозній стандартизації, що регламентується міжнародними та національними стандартами. Основними стандартами є: EN 54 та NFPA 72.

EN 54 – європейський стандарт, що регулює вимоги до димових сповіщувачів і їх тестування.

NFPA 72 – стандарт Національної асоціації пожежної безпеки США, що визначає вимоги до систем пожежної сигналізації.

Дотримання цих стандартів гарантує, що димові сповіщувачі відповідають високим вимогам безпеки і надійності.

1.2 Аналіз методів тестування димових сповіщувачів

Аналіз методів тестування димових сповіщувачів включають різні підходи для оцінки їхньої ефективності, надійності та відповідності встановленим стандартам пожежної безпеки. Тестування димових сповіщувачів є критичним етапом у забезпеченні належної роботи систем протипожежної сигналізації, тому існує кілька ключових методів і технік, що використовуються для цієї мети [5].

Існують такі методи тестування димових сповіщувачів:

1. Метод генерації диму – один з найпоширеніших методів, який полягає в створенні контрольованої кількості диму за допомогою спеціалізованих пристроїв для генерації диму або паливних матеріалів. Сповіщувачі тестуються на їхню здатність виявляти дим у певних концентраціях, а також на швидкість реакції. Випробування проводяться для різних рівнів диму, що дозволяє визначити поріг чутливості пристрою. Зазвичай використовується в лабораторних умовах для калібрування нових сповіщувачів або оцінки ефективності на різних стадіях експлуатації.

2. Тестування за допомогою аерозольних симуляторів диму. Спеціальні аерозолі, що імітують дим, використовуються для перевірки сповіщувачів без необхідності створювати справжнє загоряння чи використовувати паливні матеріали. Цей метод дозволяє швидко і безпечно тестувати сповіщувачі, особливо у реальних умовах експлуатації. Аерозольні симулятори часто використовуються для регулярних перевірок працездатності димових сповіщувачів на підприємствах та в житлових приміщеннях.

3. Тестування в контрольованому середовищі (лабораторні випробування). Лабораторні тести проводяться в спеціальних камерах, де можна точно контролювати такі параметри, як вологість, температура та концентрація диму. Ці випробування дозволяють оцінити чутливість димових сповіщувачів у різних

умовах, включаючи ті, що можуть впливати на їхню роботу в реальних ситуаціях (наприклад, висока вологість або присутність сторонніх частинок у повітрі).

4. Тестування хибних спрацьовувань. Димові сповіщувачі перевіряються на ймовірність помилкових спрацьовувань у відповідь на інші фактори, такі як пар, пил або вібрація. Для цього використовуються спеціальні тестові умови, в яких створюються сценарії, що можуть призвести до хибного спрацьовування, і спостерігається реакція сповіщувача. Це важливий етап тестування, оскільки хибні тривоги можуть значно знизити ефективність роботи системи пожежної сигналізації.

5. Тестування стійкості до зовнішніх впливів. Сповіщувачі піддаються дії екстремальних температур, високої вологості, корозії, пилу та механічних впливів для перевірки їх стійкості до зовнішніх факторів. Це забезпечує оцінку тривалості їхнього терміну служби та стійкості до несприятливих умов, у яких вони можуть експлуатуватися.

6. Радіочастотне тестування (для бездротових сповіщувачів). Для бездротових димових сповіщувачів додатково проводяться тести на стійкість до електромагнітних завад та перевірка якості передачі сигналу в різних умовах, зокрема в умовах перешкод. Це дозволяє оцінити, наскільки надійно передаються дані від сповіщувачів у системи контролю бездротових мереж і чи можуть зовнішні радіочастоти вплинути на їх роботу [6].

По закінченню тестування проводиться аналіз результатів за такими параметрами:

1) Час реагування - оцінюється, скільки часу потрібно сповіщувачу для виявлення диму після його появи. Це ключовий показник, що визначає, наскільки швидко система пожежної сигналізації може попередити про загрозу.

2) Чутливість до диму - визначається мінімальна концентрація диму, на яку реагує сповіщувач. Сповіщувач має бути налаштований так, щоб виявляти небезпечні концентрації диму, уникаючи при цьому помилкових спрацьовувань.

3) Ймовірність хибних спрацювань: аналізується кількість і частота хибних спрацювань у тестових умовах, що імітують реальні експлуатаційні фактори, такі як пил, пар або вібрації.

4) Надійність у реальних умовах експлуатації: результати лабораторних тестів порівнюються з результатами польових випробувань, що дозволяє оцінити, наскільки ефективно працює сповіщувач в умовах, близьких до реальних.

5) Стійкість до зовнішніх впливів: проводиться аналіз того, як сповіщувачі працюють під впливом різних зовнішніх факторів (температурні зміни, вологість, корозійні середовища тощо) [7].

Ці методи та аналізи дозволяють проводити комплексну оцінку димових сповіщувачів, що гарантує їх ефективну роботу в різних умовах та забезпечує відповідність вимогам пожежної безпеки.

Тестування димових сповіщувачів є важливим етапом у процесі забезпечення їхньої надійності та ефективності. З метою оцінки продуктивності сповіщувачів використовуються різноманітні методи, які дозволяють визначити їхні характеристики, а також виявити можливі дефекти або недоліки в роботі. Нижче наведено основні методи тестування димових сповіщувачів та їх особливості [8].

Перший метод полягає в тому, що лабораторні випробування проводяться в спеціально обладнаних приміщеннях, де можна контролювати умови, такі як температура, вологість, концентрація диму та інші параметри. До особливостей даного методу можна віднести:

1) Контроль умов: у лабораторії можна точно налаштувати експериментальні умови, що дозволяє проводити тестування за різних сценаріїв.

2) Калібрування: лабораторні випробування дозволяють калібрувати сповіщувачі для забезпечення їхньої точності та чутливості.

3) Повторюваність: тести можна повторювати з високою точністю, що сприяє отриманню надійних результатів.

Другий метод полягає в тому, що польові випробування проводяться в реальних умовах експлуатації димових сповіщувачів, таких як житлові будинки, офіси або промислові об'єкти [9]. До особливостей даного методу можна віднести:

1) Реалістичні умови: тестування в природних умовах дозволяє оцінити, як сповіщувачі реагують на різноманітні фактори, такі як пил, пар, перепади температури.

2) Взаємодія з оточенням: оцінюється, як сповіщувачі взаємодіють з іншими елементами системи безпеки, такими як сигналізація та автоматизовані системи управління.

3) Оцінка зручності: визначається зручність установки та обслуговування сповіщувачів.

Третій метод полягає в тому, що цей метод передбачає використання пристроїв для генерації диму, які імітують дим у контрольованих умовах. До особливостей даного методу можна віднести:

1) Контрольована кількість диму: можливість точно налаштувати концентрацію диму, що дозволяє проводити тести на чутливість сповіщувачів.

2) Швидкість реакції: оцінка часу, необхідного для спрацьовування сповіщувача після виявлення диму.

3) Сценарії загоряння: можливість моделювання різних сценаріїв загоряння для визначення порогів чутливості.

Четвертий метод полягає в тому, що використання аерозолів, які імітують дим, для перевірки сповіщувачів без використання реального диму або джерел вогню. До особливостей даного методу можна віднести:

1) Безпечність: дозволяє тестувати сповіщувачі без ризику виникнення справжньої пожежі.

2) Швидкість: процес тестування є швидким і легким, що дозволяє проводити регулярні перевірки.

3) Гнучкість: можливість використання в різних умовах, включаючи житлові та комерційні приміщення.

П'ятий метод полягає в тому, що включає вивчення спроможності димових сповіщувачів уникати хибних спрацьовувань при впливі на них сторонніх факторів[10]. До особливостей даного методу можна віднести:

1) Різноманітність факторів: випробування проводяться з урахуванням впливу вологи, пилу, пари, запахів та інших чинників.

2) Аналіз чутливості: визначення межі чутливості сповіщувача, за якої він може помилково спрацювати.

3) Зниження ризиків: допомагає зменшити кількість хибних тривог, що важливо для ефективності системи пожежної сигналізації.

Шостий метод полягає в тому, що тестування на тривалість безперервної роботи димових сповіщувачів проводиться у різних умовах. До особливостей даного методу можна віднести:

1) Тривалість роботи: визначення терміну служби сповіщувачів та їхньої працездатності під час тривалого використання.

2) Вплив зовнішніх факторів: оцінка впливу температури, вологості, механічних впливів на надійність роботи.

3) Прогнозування відмов: виявлення потенційних проблем і можливість прогнозування термінів обслуговування або заміни сповіщувачів.

1.3 Огляд існуючих систем тестування димових сповіщувачів

Тестування димових сповіщувачів є критично важливим для забезпечення їх належної працездатності. На ринку доступні різні пристрої, які використовуються для цього процесу. Нижче описані основні аналоги димових тестерів, їх переваги та недоліки.

1.3.1 Генератор диму "КТР-1" та "Теплотест"

Ці пристрої призначені для тестування пожежних сповіщувачів, які реагують на аерозольні продукти горіння або теплові повітряні потоки. Димогенератор "КТР-1" забезпечує універсальне тестування сповіщувачів

завдяки змінним насадкам, що дозволяють використовувати його з різними типами пристроїв [11]. Його зовнішній вигляд зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд генератора диму "КТР-1"

Переваги:

- Універсальність завдяки змінним насадкам.
- Гнучка конструкція, яка підлаштовується під різні поверхні.
- Використовує дешеву фог-рідину для генерації диму.

Недоліки:

- Виведення індикації лише на лицьову сторону пристрою.
- Відсутність герметичної камери для ізолюваного заповнення димом.
- Незручна система живлення із зовнішнім 12V акумулятором.

1.3.2 Генератор диму TESTIFIRE

Універсальний пристрій для перевірки пожежних сповіщувачів, оснащений пультом управління з дисплеєм. Має змінні картриджі для імітації

диму або СО і можливість тестування теплових сповіщувачів [12]. Зовнішній вигляд продемонстровано на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд генератора диму " TESTIFIRE "

Перевагами цієї системи є:

- Підтримка різних типів сповіщувачів.
- Екран і панель керування для зручності налаштувань.
- Автоматичний запуск при фіксуванні сповіщувача.
- Змінний акумулятор та індикація роботи.

До недоліків можна віднести:

- Висока вартість.
- Використання змінних картриджів, які не дозаправляються.

1.3.3 Аерозольний тестер Firewolf

Призначений для перевірки димових сповіщувачів, встановлених на висоті. Використовується разом з аерозолем Prufgas 918/5, що забезпечує ефективну симуляцію диму. Зовнішній вигляд на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд аерозольного розпилювача " Firewolf "

До переваг можна віднести:

- Проста та зручна конструкція.
- Легкість у використанні.

Недоліки системи має такі:

- Не доступний для продажу.
- Висока вартість витратних матеріалів (балончик аерозолі коштує 960 грн).
- Статичний корпус, що не підлаштовується під поверхню.

1.3.4 Аерозольний розпилювач Solo 330 та Solo 332

Ці пристрої використовуються для перевірки димових сповіщувачів на висоті та димових сповіщувачів великого діаметру. Їхня конструкція дозволяє легко заповнювати ємність газом для тестування [13]. Зображення пристрою на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд аерозольного розпилювача " Solo 330 "

Перевагами системи є:

- Простота у використанні.
- Прозора та герметична ємність для заповнення газом.
- Гнучка конструкція, що адаптується під різні поверхні.

Недоліками цієї системи є:

- Недоступність для продажу.
- Відсутність у продажі витратних матеріалів.
- Витратний матеріал (балончик з газом) обмежений на 300-350 спрацьовувань.

1.3.5 Дослідний зразок радіотехнічної системи

Розроблений пристрій для тестування димових сповіщувачів має низку ключових переваг, що роблять його більш ефективним та зручним у використанні порівняно з існуючими аналогами. Зовнішній вигляд дослідного зразку продемонстровано на рисунку 1.5

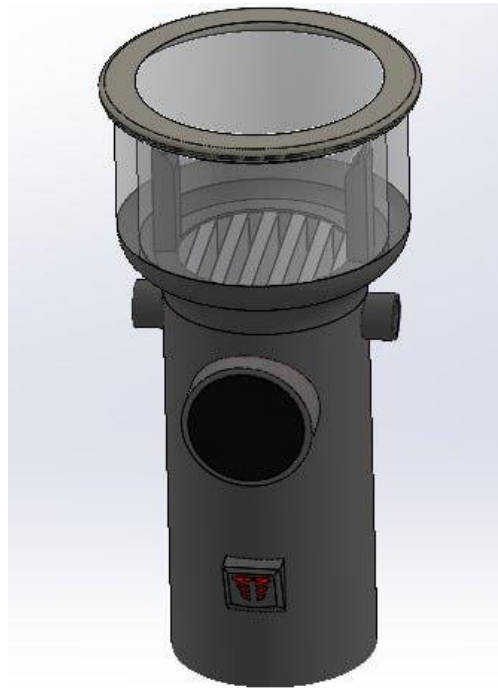


Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд дослідного генератора диму

Особливостями дослідного зразку можна назвати такі характеристики, які наведені нижче:

1. Сенсор фіксації наявності сповіщувача забезпечує автоматичний запуск тесту, що значно підвищує зручність та точність роботи.
2. Ізольована камера дозволяє ефективніше використовувати випущений дим, створюючи контрольоване середовище для тестування.
3. Порційна подача диму чітко розрахована на кількість, необхідну для спрацьовування сповіщувача, що підвищує точність перевірки та економічність.
4. Підтримка будь-якої фог-рідини та можливість дозаправки роблять пристрій зручним і гнучким у використанні.

5. Анатомічна форма корпусу сприяє комфортному використанню пристрою, дозволяючи зручно тримати його в руці протягом тестування.

6. Зовнішня конструкція, яка підлаштовується під поверхню, на якій розташований сповіщувач, забезпечує універсальність використання.

7. Економічне використання ресурсів та портативність завдяки енергоефективній системі живлення дозволяють використовувати пристрій у будь-яких умовах.

8. Проста заміна, компонентів, що можуть вийти з ладу. Картридж який і є складовою частиною блоку генерації диму можна замінити без зусиль на новий. Ці особливості роблять дослідний пристрій більш доступним, економічним та універсальним для тестування димових сповіщувачів у різних умовах.

1.4 Висновки до розділу

Виявлення диму є ключовою функцією димових сповіщувачів, оскільки саме своєчасне і точне спрацювання дозволяє попередити про пожежну загрозу на ранніх етапах, що мінімізує ризики для життя людей та матеріальних збитків.

Однією з головних переваг димового тестування є можливість імітувати реальні умови виникнення пожежі, що дає змогу точно оцінити реакцію сповіщувача на появу диму. Метод генерації контрольованих об'ємів диму дозволяє тестувати чутливість пристроїв до різних концентрацій диму, зокрема визначати мінімальні пороги спрацювання, а також швидкість реакції сповіщувачів. Це особливо важливо для забезпечення того, щоб сповіщувачі могли виявляти дим на ранніх стадіях пожежі, не допускаючи хибних спрацювань, які можуть знизити ефективність системи.

Тестування з використанням димових генераторів чи аерозольних симуляторів дозволяє проводити перевірки без необхідності створювати реальні загоряння, що значно підвищує безпеку та зручність процесу. Такі методи також забезпечують можливість регулярних перевірок сповіщувачів у реальних умовах

експлуатації, що є важливим аспектом для підтримання їх працездатності на високому рівні.

Зважаючи на постійний розвиток систем протипожежної безпеки, саме димове тестування залишається одним із найефективніших способів перевірки надійності та відповідності димових сповіщувачів вимогам міжнародних стандартів, таких як EN 54 та NFPA 72. Цей процес дозволяє не лише оцінити працездатність сповіщувачів, але й забезпечити їх відповідність умовам експлуатації, що гарантує своєчасну реакцію на загрозу пожежі.

На сьогодні існує безліч пристроїв і систем, які забезпечують тестування димових сповіщувачів. Їх використання залежить від завдань, умов експлуатації та вимог до точності результатів. Системи тестування можна умовно розділити на три основні категорії: ручні тестери димових сповіщувачів, автоматизовані димогенератори, комплексні лабораторні системи тестування.

1. Ручні тестери димових сповіщувачів – це найпростіші пристрої, що використовують аерозолі для створення умовного димового середовища.

Прикладом таких тестерів є аерозольний тестер Solo 330, який застосовується для тестування сповіщувачів, встановлених на висоті. Він має прозору ємність, яка дозволяє візуально контролювати заповнення димом.

Перевагами цих пристроїв є простота у використанні та відносно низька вартість. До недоліків даної системи можна віднести обмежений обсяг витратних матеріалів (один балончик забезпечує близько 300–350 тестувань), а також менш точне моделювання складних сценаріїв (наприклад, змінної концентрації диму).

2. Автоматизовані димогенератори – це системи, які здатні створювати контрольоване димове середовище та точно регулювати його параметри.

Прикладом таких систем є генератор диму TESTIFIRE. Він підтримує різні типи сповіщувачів (димові, теплові, комбіновані) і оснащений індикатором для зручності використання.

Перевагами цих пристроїв є можливість точного налаштування концентрації диму та автоматичний запуск тестування після фіксації наявності сповіщувача. До недоліків можна віднести високу вартість обладнання та

витратних матеріалів і залежність від змінних картриджів, які не підлягають повторному використанню.

3. Комплексні лабораторні системи тестування – це системи, які використовуються у спеціалізованих умовах для тестування на відповідність стандартам (наприклад, EN 54, NFPA 72). Прикладом такої системи є лабораторна камера з контрольованими параметрами середовища (температура, вологість, димова концентрація).

Перевагами цих систем можна назвати точний контроль зовнішніх умов, також вони підходять для сертифікаційного тестування. Системи має такі недоліки, як велика вартість обладнання та обслуговування, і що вони не мобільні, використовуються тільки в лабораторіях.

Тестування димових сповіщувачів на сьогоднішній день має тенденції до автоматизації, компактності, екологічності та інтеграції з IoT.

1. Автоматизація процесів включає інтелектуальних систем для автоматичного запуску тестування та аналізу отриманих результатів, та використання сенсорів для моніторингу стану тестового середовища в реальному часі.

2. Інтеграція IoT включає підключення тестерів до хмарних платформ для збору та аналізу даних, а також віддалене керування процесом тестування через смартфон чи ПК.

3. Екологічність включає перехід на більш екологічні витратні матеріали (безпечні для навколишнього середовища аерозолі або рідини для димогенераторів) і зменшення кількості хибних спрацювань, що знижує навантаження на систему тестування.

4. Тенденція до компактності та портативності включає розробку пристроїв, які легко транспортувати та використовувати у важкодоступних місцях (наприклад, на висоті або в промислових зонах).

2 РОЗРОБКА РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ДИМОВИХ СПОВІЩУВАЧІВ

2.1 Розробка структурної схеми радіотехнічної системи

В результаті аналізу попереднього розділу, було проведено розробку базової структурної схеми дослідного зразку радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів. Розроблена схема показана нижче на рисунку 2.1.

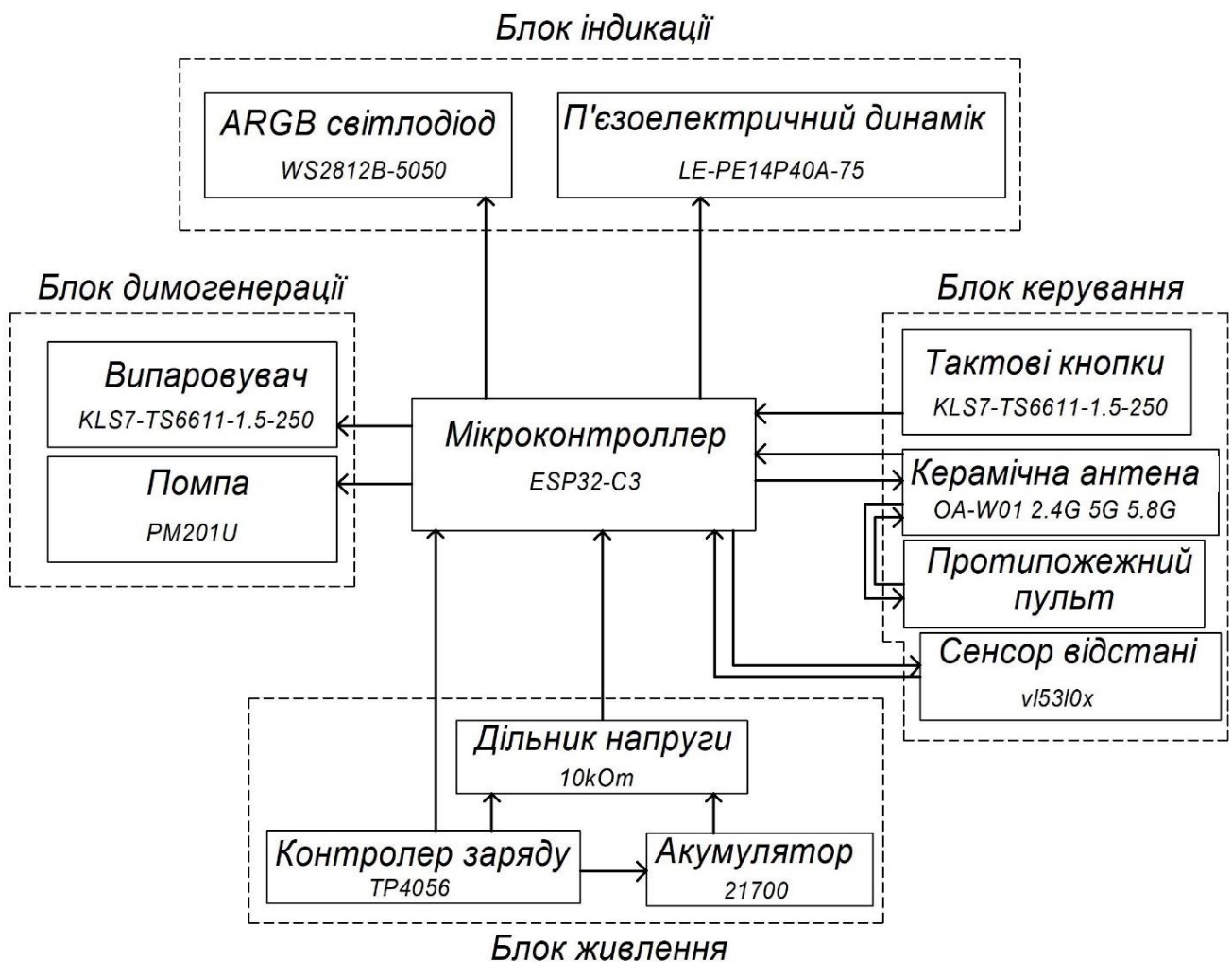


Рисунок 2.1 – Структурна схема радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів

Генератор диму для тестування димових сповіщувачів базується на представленій схемі, що складається з кількох основних компонентів і взаємодій. Нижче наведено деталізований опис складових та їх призначення в рамках розробки генератора диму:

1) ESP32-C3 – центральний елемент схеми. Це контролер, який забезпечує керування всіма підключеними модулями і сенсорами. Він відповідає за обробку сигналів від сенсорів і керування виходами, такими як світлодіоди або інші виконавчі пристрої [14].

2) Тип-C порт – забезпечує живлення схеми та взаємодію з зарядним пристроєм TP4056. Підключення через цей порт дозволяє заряджати акумуляторну батарею, забезпечуючи автономність роботи пристрою.

3) TP4056 – інтегрований чип керування зарядом. Він відповідає за зарядку літій-іонного акумулятора EVE INR21700-40P і забезпечує належний рівень живлення для всієї системи.

4) EVE INR21700-40P – акумуляторна батарея, яка є основним джерелом живлення для схеми. Вона забезпечує живлення всіх компонентів, що дозволяє пристрою працювати автономно.

5) IRF520 – транзистори, які відповідають за контроль подачі електроенергії на певні частини схеми. Вони контролюють струм, що проходить до генератора диму, а саме помпи PM201U і Special cartridge for smoke.

6) Special cartridge for smoke – компонент, що створює дим. Він, відповідає за генерацію диму, який використовується для тестування димових сповіщувачів. Картридж заповнюється фог рідиною, яка продувається помпою, через що ми отримуємо направлений потік диму [15].

7) PM201U – помпа для прокачування повітря крізь повітряний канал в картридж.

8) WS2812B-5050 – RGB світлодіоди, використовуватися для візуалізації стану генератора, сигналізації або іншого типу індикації. Вони керуються безпосередньо через ESP32-C3, що дозволяє контролювати колір і яскравість цих світлодіодів.

9) LE-PE14P40A-75 – п'єзоелектричний компонент з автогенератором, який потрібен для звукової індикації пристрою.

10) VL53L0X – лазерний датчик відстані, який використовується для вимірювання відстані або положення об'єкта. Застосовується для визначення наявності димових сповіщувачів в камері для подальшого заповнення диму [16].

11) OA-W01 2.4G 5G 5.8G – модуль бездротового зв'язку, який використовуватися для віддаленого керування або моніторингу генератора диму. Цей модуль дозволяє передавати дані через Wi-Fi або інші бездротові протоколи.

12) SMD0402-10kOm – Дільник напруги, потрібен для визначення рівня напруги на акумуляторі через вбудований ADC мікроконтролера.

13) OSXX0603C1E (SMD0603) – світлодіоди, які є частинами системи індикації рівня заряду акумулятора.

14) KLS7-TS6611-1.5-250 – тактові кнопки для управління генератором диму. Виконують функцію увімкнення/вимкнення або перемикання режимів роботи.

Ця схема призначена для створення генератора диму, що використовується для тестування димових сповіщувачів. Вона складається з основних частин: контролера (ESP32-C3), системи живлення, блока димогенерації, світлодіодів для індикації, та сенсорів для контролю. Всі елементи взаємодіють через ESP32-C3, який відповідає за управління роботою системи та збір даних від сенсорів.

2.2 Розробка електрично-принципової схеми радіотехнічної системи

Для реалізації електрично-принципової схеми, на основі розробленої структурної схеми, було обрано програмне середовище для проектування електронних схем і друкованих плат під назвою Altium Designer. Головний екран середовища з частиною розробленої схеми показано на рисунку 2.2.

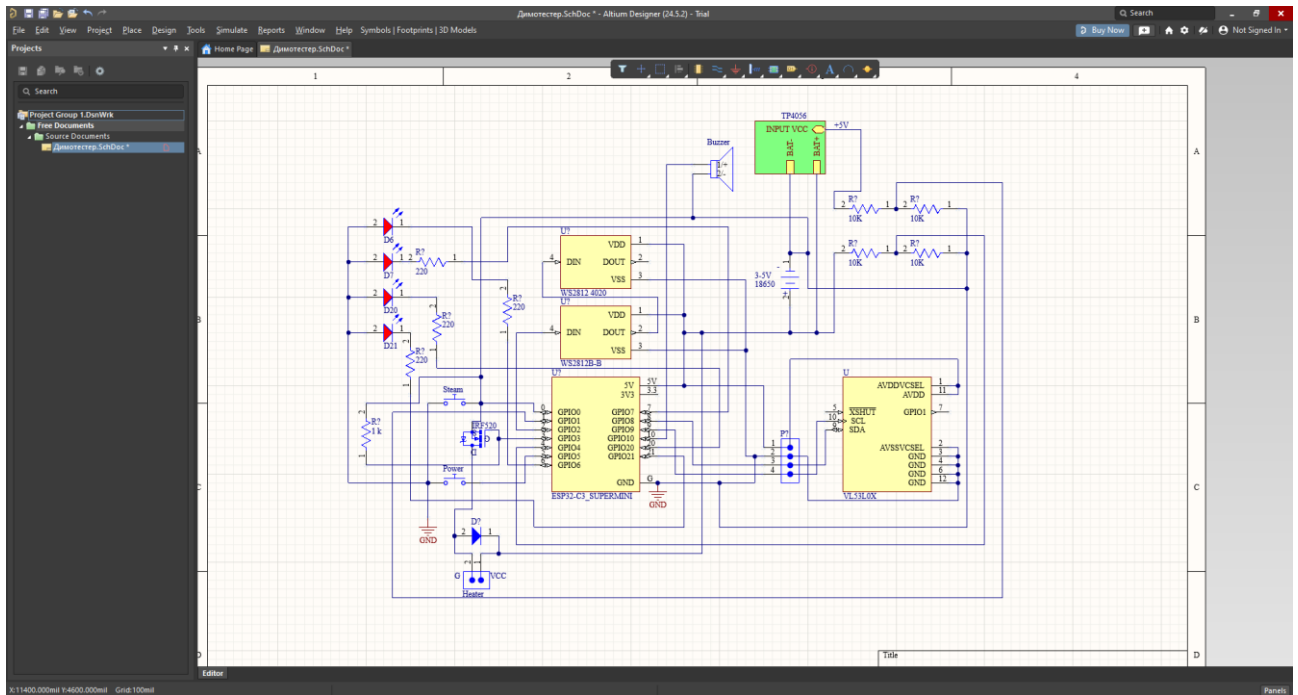


Рисунок 2.2 – Розробка схеми в середовищі Altium Designer

Програмне середовище для проектування електронних схем і друкованих плат Altium Designer було обрано тому, що:

Altium Designer — це професійне програмне забезпечення для проектування електронних схем та друкованих плат (PCB), яке широко використовується інженерами-електронщиками в промисловості. Altium Designer є одним з найпотужніших інструментів для створення високоякісних друкованих плат, завдяки чому популярний серед інженерів, які займаються розробкою складних і багатошарових пристроїв. Його інструменти для трасування, інтеграція з 3D-моделюванням і підтримка всіх необхідних стандартів роблять Altium Designer індустріальним стандартом [17].

До основних функцій, яке надає програмне середовище Altium Designer можна віднести:

1. Редактор електронних схем (Schematic Editor), дозволяє створювати детальні електронні схеми з великим рівнем контролю та гнучкості:

1) Бібліотека компонентів: Altium Designer надає доступ до широкої бібліотеки компонентів, які можна налаштовувати. Також можливе створення власних компонентів з унікальними характеристиками.

2) Редагування схем: інтерфейс підтримує роботу з декількома аркушами, дозволяє з'єднувати вузли, підписувати дроти та використовувати унікальні налаштування для кожного компонента.

3) Правила електричних перевірок (ERC): інструменти для виявлення помилок у схемі, що допомагають мінімізувати ризики несправності плати під час розробки.

4) Модульність: можливість створення підсхем і модулів для полегшення роботи над великими проектами.

2. Редактор друкованих плат (PCB Editor) – один з найпотужніших редакторів друкованих плат, який включає всі необхідні інструменти для розробки як простих, так і дуже складних плат:

1) Багат шарові плати: підтримка багат шарових плат, що дозволяє розробляти складні схеми з високою щільністю компонентів.

2) Інтерактивне трасування: Altium Designer дозволяє автоматично або вручну прокладати траси, забезпечуючи зручність у роботі з компонентами.

3) 3D-моделювання: потужний 3D-інструмент для перегляду плати у тривимірному вигляді, що дозволяє бачити, як плата виглядатиме після виготовлення, а також перевіряти наявність потенційних помилок монтажу.

4) Правила трасування (DRC): система перевірки правильності трасування, яка запобігає порушенню правил і стандартів, що особливо важливо для високочастотних та потужних схем.

3. Інтеграція з бібліотеками компонентів – Altium Designer надає доступ до величезної кількості бібліотек компонентів, а також інтегрується з онлайн-каталогами, як-от Octopart. Це дозволяє легко знайти, додати та використовувати компоненти з урахуванням їхніх специфікацій і вартості.

4. Управління проектами – Altium Designer підтримує функціонал управління проектами, який включає:

1) Систему контролю версій: допомагає відстежувати зміни у проекті, що важливо для роботи в команді.

2) Взаємодія з іншими учасниками: Altium Designer підтримує інтеграцію з системами спільної роботи, що дозволяє інженерам працювати над проектами одночасно.

3) Документація проекту: можливість створювати документацію для проекту безпосередньо в програмі, що спрощує підготовку до виготовлення та монтажу.

5. Симуляція і аналіз – Altium Designer підтримує симуляцію схем і проводить аналіз на різних рівнях, що дозволяє оцінити поведінку плати ще на етапі проектування:

1) SPICE-симуляція: підтримує різні моделі для електронних компонентів, що дозволяє аналізувати роботу схеми під впливом різних змінних.

2) Аналіз сигналів: можливість перевірки рівня сигналу, імпедансу, падіння напруги та інших параметрів, що особливо важливо для схем з високочастотними сигналами.

3) Аналіз температури: дає можливість оцінити, як компоненти реагуватимуть на нагрівання, та виявити ділянки з надмірним виділенням тепла.

6. 3D-моделювання – вбудований 3D-редактор Altium Designer дозволяє інженерам візуалізувати плату з усіма компонентами в тривимірному вигляді, а також перевірити, як вона поєднується з корпусом або іншими частинами пристрою:

1) Інтеграція з CAD-системами: Altium Designer підтримує експорт 3D-моделей у формати для CAD-систем (наприклад, SOLIDWORKS), що дозволяє працювати над механічними частинами та електронікою в одному середовищі.

2) Перевірка компонентів на зіткнення: візуалізація розміщення компонентів для виявлення помилок, пов'язаних з невірним розташуванням частин або обмеженнями корпусу.

7. Інструменти для виготовлення плат – Altium Designer надає весь необхідний інструментарій для підготовки файлів до виготовлення:

1) Генерація Gerber-файлів: створення файлів у форматі Gerber, що є стандартом для виробництва друкованих плат.

2) Файли для монтажу: програма автоматично створює файли, необхідні для монтажу компонентів, що включають креслення, місця розташування компонентів і списки матеріалів (BOM).

3) Перевірка на відповідність виробничим стандартам: система перевірки відповідності стандартам, що допомагає запобігти можливим проблемам на етапі виготовлення.

До переваг використання Altium Designer можна віднести:

1. Інтегроване середовище розробки: Altium Designer дозволяє виконувати всі етапи проектування друкованих плат — від створення схем до підготовки до виробництва — в одному середовищі.

2. 3D-моделювання і симуляція: можливість перегляду плати в 3D і проведення симуляцій дозволяє краще розуміти, як плата виглядатиме та працюватиме в реальному світі.

3. Потужна система перевірок: перевірка електричних і трасувальних правил допомагає уникати помилок на етапі проектування.

4. Робота в команді: завдяки системі контролю версій і можливості керування бібліотеками, Altium Designer підтримує спільну розробку.

5. Підтримка високих стандартів: забезпечує точність і надійність розробок, що є критичним для промислових і високоточних галузей.

Розробка принципової схеми генератора диму для тестування димових сповіщувачів вимагає ретельного вибору компонентів, які забезпечують стабільну роботу, точність вимірювань і ефективне керування всіма підсистемами. Нижче наведено детальний аналіз вибору компонентів і їх функціональних призначень. Зображення принципової схеми показано на рисунку 2.3.

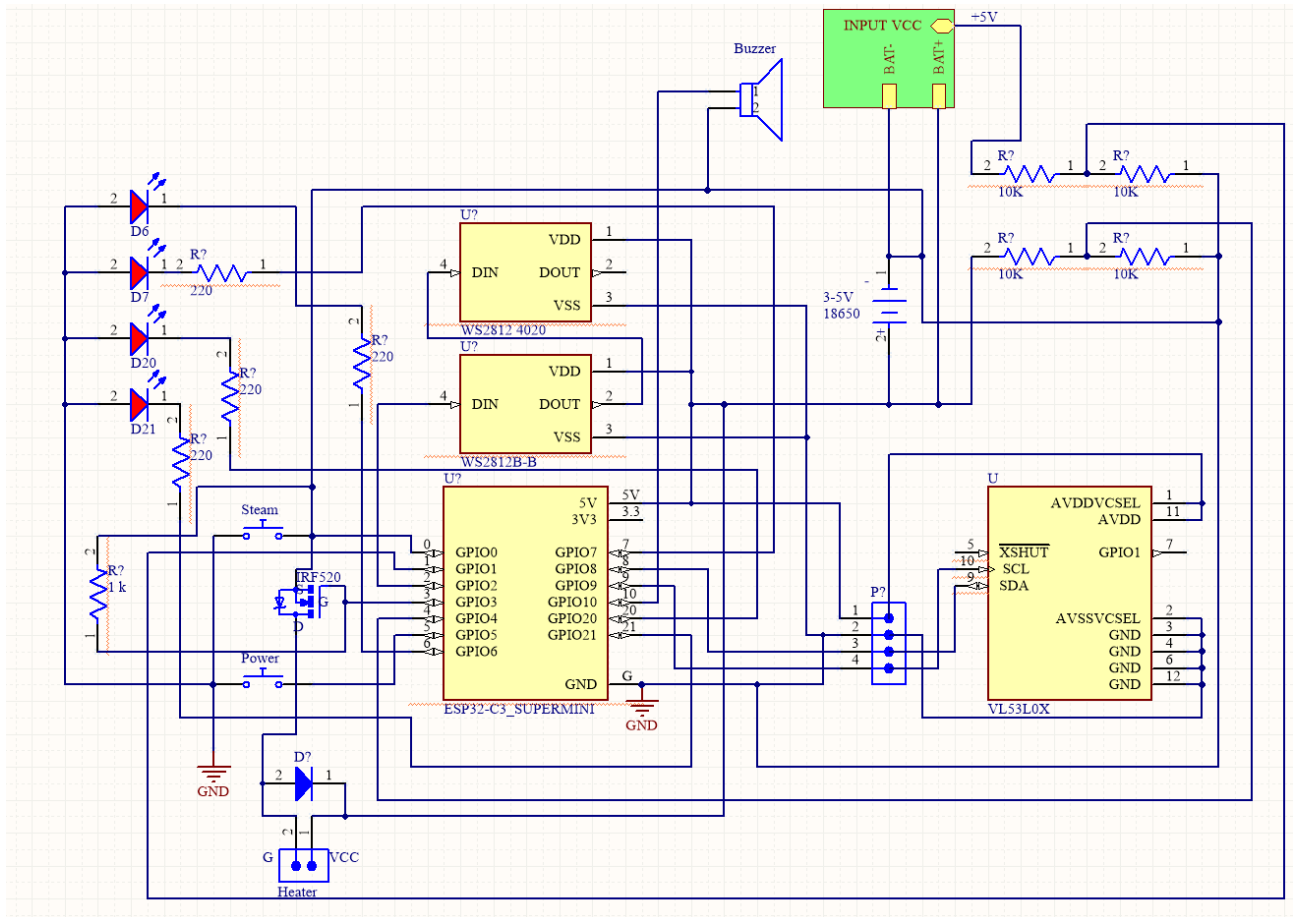


Рисунок 2.3 – Електрично-принципова схема дослідного генератора диму

Під час розробки електрично-принципової схеми було обрано таку компонентну базу:

ESP32-C3 — це потужний мікроконтролер від Espressif, який вирізняється серед інших мікроконтролерів своєю багатофункціональністю, особливо в аспекті бездротової передачі даних. Завдяки підтримці Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE), ESP32-C3 стає ідеальним вибором для IoT-проектів, де важливо забезпечити стабільну та надійну комунікацію між пристроями або з мережею. Базуючись на 32-бітному RISC-V процесорі, ESP32-C3 поєднує високу продуктивність з енергоефективністю, що робить його відмінним рішенням для різноманітних застосувань.

1. Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE) у одному мікроконтролері

Наявність як Wi-Fi, так і BLE модулів дозволяє ESP32-C3 реалізовувати дві різні форми зв'язку:

Wi-Fi забезпечує високу швидкість і стабільність з'єднання в мережах на частоті 2,4 ГГц. Це робить ESP32-C3 ідеальним для підключення до Інтернету та передачі великих обсягів даних, які вимагають широкої пропускної здатності.

BLE дозволяє встановлювати енергоефективні короткочасні з'єднання, що мінімізує використання батареї. Це особливо важливо для пристроїв, які працюють від батарей або акумуляторів і потребують бездротової передачі даних з низьким енергоспоживанням.

2. Висока швидкість передачі

Завдяки Wi-Fi, ESP32-C3 здатен підтримувати швидкість передачі даних до 150 Мбіт/с, що робить його відмінним вибором для проектів, де важлива велика пропускна здатність. Така швидкість дозволяє пристрою передавати велику кількість даних, включаючи мультимедійні файли чи інформацію від сенсорів, без затримок.

3. Енергоефективність

Незважаючи на можливість високошвидкісного обміну даними, ESP32-C3 підтримує кілька енергоощадних режимів:

Режим глибокого сну (Deep Sleep) і режим легкого сну (Light Sleep) дозволяють знизити енергоспоживання до мінімуму, зберігаючи при цьому можливість швидко повернутись до активного режиму передачі даних.

Dynamic Power Management (DPM) дозволяє динамічно керувати споживанням енергії в залежності від навантаження, що сприяє довговічності пристрою при живленні від батарей.

4. Безпека на рівні передачі даних

ESP32-C3 пропонує широкий спектр засобів захисту для передачі даних:

Апаратне шифрування — підтримка таких алгоритмів, як AES, SHA, та RSA, дозволяє забезпечити безпеку на апаратному рівні.

Протоколи захисту Wi-Fi і BLE — підтримка WPA2 та WPA3 для Wi-Fi з'єднань і шифрування для BLE забезпечує високий рівень захисту при передачі.

Захищене завантаження (Secure Boot) та шифрування флеш-пам'яті допомагає захистити прошивку та дані пристрою від несанкціонованого доступу.

5. Потужний процесор на базі RISC-V

ESP32-C3 оснащений 32-бітним процесором RISC-V, який підтримує паралельну обробку задач, що підвищує ефективність передачі даних. Цей процесор здатен обробляти значний обсяг інформації, що робить ESP32-C3 придатним для задач з високими вимогами до продуктивності.

6. Підтримка популярних протоколів для IoT

ESP32-C3 підтримує різні IoT-протоколи, що забезпечує широку сумісність з іншими пристроями і серверами:

MQTT забезпечує легку інтеграцію в IoT-екосистеми, дозволяючи швидко передавати дані між пристроями і серверами в режимі реального часу.

HTTP/HTTPS дає змогу безпечно з'єднувати пристрої з веб-серверами, працювати з REST API та передавати дані у хмарні сервіси.

WebSocket дозволяє реалізувати двосторонню передачу даних у режимі реального часу з мінімальними затримками, що особливо корисно для інтерактивних додатків.

7. Економічність і доступність

ESP32-C3 є порівняно доступним мікроконтролером, що робить його привабливим для широкого кола проєктів, від простих до промислових. Він має велике ком'юніті розробників та підтримується численними бібліотеками, що робить налаштування і використання ESP32-C3 простим і зручним.

ESP32-C3 є мікроконтролером нового покоління, який поєднує високу продуктивність, економічність та широкі функціональні можливості, що робить його ідеальним вибором для найрізноманітніших проєктів. Завдяки своїм характеристикам та порівняно невеликій ціні, він є доступним для широкого кола інженерів і розробників, починаючи від новачків у сфері IoT (інтернету речей) до професіоналів, які працюють над промисловими проєктами.

Мікроконтролер ESP32-C3 активно підтримується глобальним співтовариством розробників, що створює численні бібліотеки, документацію та приклади для спрощення роботи з пристроєм. Велика кількість готових рішень

та прикладів дозволяє швидко інтегрувати ESP32-C3 у будь-які проекти, зменшуючи час розробки та витрати на тестування.

ESP32-C3 підтримує два основних стандарти бездротового зв'язку — Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE). Це дозволяє мікроконтролеру працювати у різних сценаріях, починаючи від створення локальних мереж для з'єднання пристроїв між собою до віддаленого доступу через інтернет.

У порівнянні з контролерами ATMEGA або STM32 початкового рівня, які часто не мають інтегрованого Wi-Fi чи BLE, ESP32-C3 демонструє значно більшу функціональність. Наприклад, розробникам, які використовують ATMEGA328P, для реалізації Wi-Fi необхідно додатково інтегрувати модуль ESP8266, що ускладнює схему і підвищує загальні витрати.

ESP32-C3 підтримує кілька енергозберігаючих режимів, таких як режим глибокого сну (Deep Sleep), режим легкого сну (Light Sleep) та динамічне керування живленням (Dynamic Power Management). Це забезпечує мінімальне споживання енергії при тривалому використанні батарей, що робить мікроконтролер оптимальним вибором для автономних пристроїв.

У порівнянні з STM32F103, ESP32-C3 демонструє значно ефективніше використання енергії в режимі очікування, що є важливим для IoT-пристроїв, які працюють на батарейному живленні. Наприклад, у пристроях для моніторингу довкілля ESP32-C3 забезпечує автономну роботу протягом багатьох місяців без необхідності заміни батареї.

Мікроконтролер ESP32-C3 підтримує сучасні протоколи безпеки, такі як WPA3 для Wi-Fi-з'єднань, а також має вбудоване апаратне шифрування даних за алгоритмами AES, SHA та RSA. Це забезпечує високий рівень безпеки для пристроїв, що працюють у мережах з чутливою інформацією.

У порівнянні з ATMEGA, який вимагає програмної реалізації шифрування, ESP32-C3 забезпечує апаратне виконання цих операцій, що значно підвищує швидкість і знижує навантаження на процесор.

Завдяки 32-бітному процесору RISC-V з частотою до 160 МГц, ESP32-C3 має більшу обчислювальну потужність порівняно з ATMEGA328P чи

STM32F103 на архітектурі ARM Cortex-M3. Це дозволяє ефективно виконувати задачі, пов'язані з обробкою даних, і забезпечує стабільну роботу навіть у високонавантажених додатках.

Наприклад, у проектах зі збору даних з численних сенсорів або в додатках для передачі великих обсягів інформації (наприклад, потокового відео), ESP32-C3 демонструє значно вищу продуктивність.

ESP32-C3 має вбудовані цифрові та аналогові інтерфейси (I2C, SPI, UART, PWM, ADC), що забезпечують сумісність з різними сенсорами і периферійними пристроями. У порівнянні з попередником ESP8266, ESP32-C3 має більшу кількість GPIO-портів, які дозволяють підключати більше пристроїв без необхідності використання мультиплексорів.

Крім того, завдяки BLE, ESP32-C3 може працювати у складі IoT-екосистем, інтегруючись з мобільними додатками або іншими BLE-пристроями, такими як фітнес-трекери, бездротові датчики тощо.

ESP32-C3 підтримує популярні середовища розробки, такі як Arduino IDE, PlatformIO, ESP-IDF (офіційна екосистема), що робить його доступним для розробників із різним рівнем досвіду. Для порівняння, програмування STM32 через STM32CubeIDE вимагає більше технічних знань, що може бути перешкодою для новачків.

Велика кількість готових бібліотек і документації з відкритим кодом дозволяє значно скоротити час розробки. Наприклад, реалізація простих функцій (зчитування даних з датчиків, керування реле) може бути виконана за кілька хвилин.

У порівнянні з ATMEGA328P, який має лише 8-бітний процесор, ESP32-C3 забезпечує значно більшу обчислювальну потужність, що дозволяє виконувати складніші задачі.

На відміну від STM32, який часто вимагає зовнішніх модулів для забезпечення бездротового зв'язку, ESP32-C3 має вбудовані Wi-Fi та BLE, що зменшує загальну вартість проекту.

У порівнянні з ESP8266, ESP32-C3 є більш енергоефективним, підтримує BLE та має покращений захист даних.

Завдяки підтримці таких протоколів, як MQTT, HTTP/HTTPS, WebSocket, ESP32-C3 дозволяє легко інтегрувати IoT-пристрої у хмарні платформи. Це робить його ідеальним для додатків у сфері смарт-будинків, промислового моніторингу чи навіть агротехнологій.

ESP32-C3 демонструє значні переваги над багатьма аналогами завдяки широким можливостям бездротової передачі даних, енергоефективності, високій продуктивності та сучасному рівню безпеки. Його використання спрощує розробку складних проектів, зменшує витрати та скорочує час на створення нових рішень. Це робить ESP32-C3 одним із найкращих виборів як для навчальних, так і для промислових додатків.

Додатковою перевагою ESP32-C3 є його вдосконалена підтримка бездротових протоколів. Порівняно з попередніми моделями, такими як ESP8266, ESP32-C3 демонструє кращу стабільність роботи з Wi-Fi у перевантажених мережах. Водночас BLE у цьому мікроконтролері має низку поліпшень: збільшено швидкість передачі даних, зменшено енергоспоживання під час простою та додано функції одночасного підключення до кількох пристроїв. Ці покращення дозволяють застосовувати ESP32-C3 у пристроях, що потребують постійного зв'язку, наприклад, у переносних гаджетах чи смарт-будинках [18].

1) ESP32-C3 – центральний мікроконтролер системи, обраний завдяки своїм широким можливостям, які включають підтримку Wi-Fi та Bluetooth, низьке енергоспоживання, а також інтегровані перетворювачі аналогового сигналу в цифровий (ADC) і цифрового сигналу в аналоговий (DAC). ESP32-C3 є оптимальним вибором завдяки своїй універсальності та можливості забезпечувати керування всіма модулями, сенсорами та виконавчими елементами. Це дозволяє створити автономну та керовану дистанційно систему, що відповідає сучасним вимогам до подібних пристроїв.

2) Тип-С порт – забезпечує можливість підключення зовнішнього джерела живлення або зарядного пристрою для живлення всієї системи. Вибір USB Type-C зумовлений його високою популярністю та зручністю використання. Окрім того, цей порт дозволяє передавати значний струм для швидкої зарядки акумулятора та забезпечення достатньої потужності для роботи генератора диму.

3) TP4056 – чип керування зарядкою, який використовується для забезпечення стабільної роботи літій-іонного акумулятора. Цей компонент обраний через його здатність ефективно керувати процесом заряджання, що гарантує довготривале використання батареї без ризику перенапруги або перегріву. Він також інтегрується з мікроконтролером для моніторингу стану зарядки.

4) EVE INR21700-40P – літій-іонний акумулятор ємністю 4000 мА·год, обраний для забезпечення автономності роботи пристрою. Завдяки високій ємності акумулятор забезпечує достатньо енергії для тривалої роботи генератора диму навіть у випадку частого використання. Вибір цього типу батареї також пояснюється її стабільною роботою та тривалим терміном служби.

5) PMPB20XPEA – N-канальний польовий транзистор, який використовується для керування подачею живлення на різні частини системи, зокрема, на димогенератор. Цей компонент забезпечує надійне перемикання потужних навантажень, таких як помпи або нагрівачі, які можуть споживати значну кількість енергії.

6) Freeton Neon Bar 4ml (0.8 ohm) – картридж з рідиною для генерації диму. Вибір цього компонента зумовлений його компактністю та ефективністю генерації аерозолі при невеликому енергоспоживанні. Опір 0.8 Ом забезпечує оптимальний баланс між кількістю диму та витратами енергії.

7) PM201U – повітряна помпа, необхідна для прокачування повітря через картридж з рідиною. Ця помпа забезпечує створення потоку диму, який необхідний для тестування димових сповіщувачів. Вибір цієї помпи базується на її компактних розмірах і здатності працювати при низькому споживанні енергії.

8) WS2812B-4040 і WS2812B-5050 – RGB світлодіоди, обрані для індикації стану системи. Вони можуть змінювати кольори залежно від умов роботи або режимів пристрою, що дозволяє візуально контролювати роботу генератора диму. Ці світлодіоди можуть використовуватися для сигналізації про стан зарядки або готовність пристрою до роботи.

9) LE-PE14P40A-75 – п'єзоелектричний компонент з автогенератором, який відповідає за звукову індикацію. Він сигналізує про різні стани пристрою, такі як початок чи закінчення генерації диму, низький рівень заряду батареї тощо. Вибір цього компонента базується на його здатності видавати чіткі звукові сигнали при низькому енергоспоживанні.

10) VL53L0X – лазерний датчик відстані. Цей сенсор використовується для вимірювання відстані до об'єкта, зокрема для виявлення димових сповіщувачів, які підлягають тестуванню. VL53L0X був обраний завдяки високій точності вимірювань і здатності працювати на великих відстанях, що робить його ідеальним для цієї системи.

11) OA-W01 2.4G 5G 5.8G – модуль бездротового зв'язку, який дозволяє керувати генератором диму дистанційно. Це важливий компонент для створення сучасної, віддалено керованої системи. Модуль підтримує передачу даних через Wi-Fi та інші частоти, що робить його універсальним рішенням для керування системою в реальному часі.

12) SMD0402-10kOm – резистор, який працює як дільник напруги. Він підключений до вбудованого ADC контролера для вимірювання рівня напруги на акумуляторі, що дозволяє відстежувати стан заряду в режимі реального часу.

13) OSXX0603C1E (SMD0603) – світлодіоди, що використовуються для індикації рівня заряду акумулятора. Вони вказують на поточний стан батареї, дозволяючи користувачу контролювати рівень енергії.

14) KLS7-TS6611-1.5-250 – тактові кнопки, які використовуються для ручного керування системою. Кнопки дозволяють вмикати та вимикати пристрій, а також перемикати режими роботи, що є важливим для оперативного керування процесом тестування.

Електрично-принципову схему можна поділити на такі блоки:

1) Блок індикації складається з світлодіодів та п'єзоелектричного динаміка, і відповідає за сповіщення користувача про стан пристрою і його роботу.

ARGB світлодіод використовується для візуальної індикації стану пристрою, наприклад, сигналізує про різні етапи роботи або рівень заряду. ARGB світлодіоди можуть змінювати кольори, що дозволяє створювати різні сигнали для користувача [19].

П'єзоелектричний динамік забезпечує звукову індикацію, наприклад, при досягненні певного рівня концентрації диму або при виявленні помилок. Звукова сигналізація може бути корисною для попередження оператора про певні події.

2) Блок димогенерації складається з випаровувача та повітряної помпи, і відповідає за генерацію диму.

Випаровувач розігріває та випаровує рідину, створюючи контрольований потік диму. Цей елемент є основним компонентом для тестування димових сповіщувачів, оскільки забезпечує імітацію диму.

Помпа забезпечує подачу повітря або рідини до випаровувача, контролюючи інтенсивність генерації диму. Помпа дозволяє регулювати кількість диму, що важливо для точного тестування різних типів димових сповіщувачів.

3) Блок керування відповідає за управління пристроєм, передачею даних. Складається з тактових кнопок, антени та сенсора відстані.

Тактові кнопки використовуються для ручного управління пристроєм, зокрема для його ввімкнення/вимкнення, запуску або зупинки генерації диму. Користувач може керувати пристроєм, не підключаючись до нього через додаткові інтерфейси.

Керамічна антена забезпечує бездротовий зв'язок (Wi-Fi або Bluetooth), що дозволяє передавати дані про роботу пристрою або отримувати команди дистанційно. Антена розширює функціональні можливості пристрою, дозволяючи керування через додаток або віддалений моніторинг.

Лазерний сенсор для вимірювання відстані. Може використовуватися для контролю розташування димових сповіщувачів або для визначення присутності об'єкта на певній відстані від пристрою.

4) Блок живлення забезпечує живлення і зарядку пристрою за допомогою роз'єму Type-C. До нього входять контролер заряду, акумулятор та дільник напруги.

Дільник напруги забезпечує вимірювання напруги на акумуляторі, дозволяючи мікроконтролеру визначити поточний рівень заряду. Це корисно для моніторингу стану живлення пристрою і запобігання повному розряду акумулятора.

Контролер заряду використовується для заряджання акумулятора. Він забезпечує правильний режим зарядки та захист від перезаряду, що є важливим для продовження терміну служби акумулятора і безпеки.

Акумулятор є джерелом живлення для пристрою, що забезпечує його автономність. Акумулятор є важливим компонентом, оскільки пристрій має працювати незалежно від зовнішнього живлення, особливо під час тестувань у польових умовах.

5) Основний елемент - Мікроконтролер ESP32-C3. Мікроконтролер є центральним елементом пристрою, який координує роботу всіх блоків, приймає дані від датчиків, керує випаровувачем і помпою для генерації диму, індикацією та зв'язком.

2.3 Конструкторське проектування радіотехнічної системи

Розробивши та проаналізувавши електрично-принципову схему, наступним кроком реалізації дослідного зразку є конструкторське проектування радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів. Проектування передбачає моделювання та розробку друкованої плати, моделювання та виготовлення корпусу, та написання програмного забезпечення для повноцінної

роботи дослідного зразку радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів.

2.3.1 Розробка друкованої плати

Розробка друкованої плати здійснювалась у програмному середовищі для проектування електронних схем і друкованих плат Altium Designer, оскільки дане середовище повністю задовільняє потреби, які потрібні для повної реалізації радіотехнічної системи [20]. Приклад розведеної друкованої плати у середовищі Altium Designer продемонстровано нижче на рисунку 2.4.

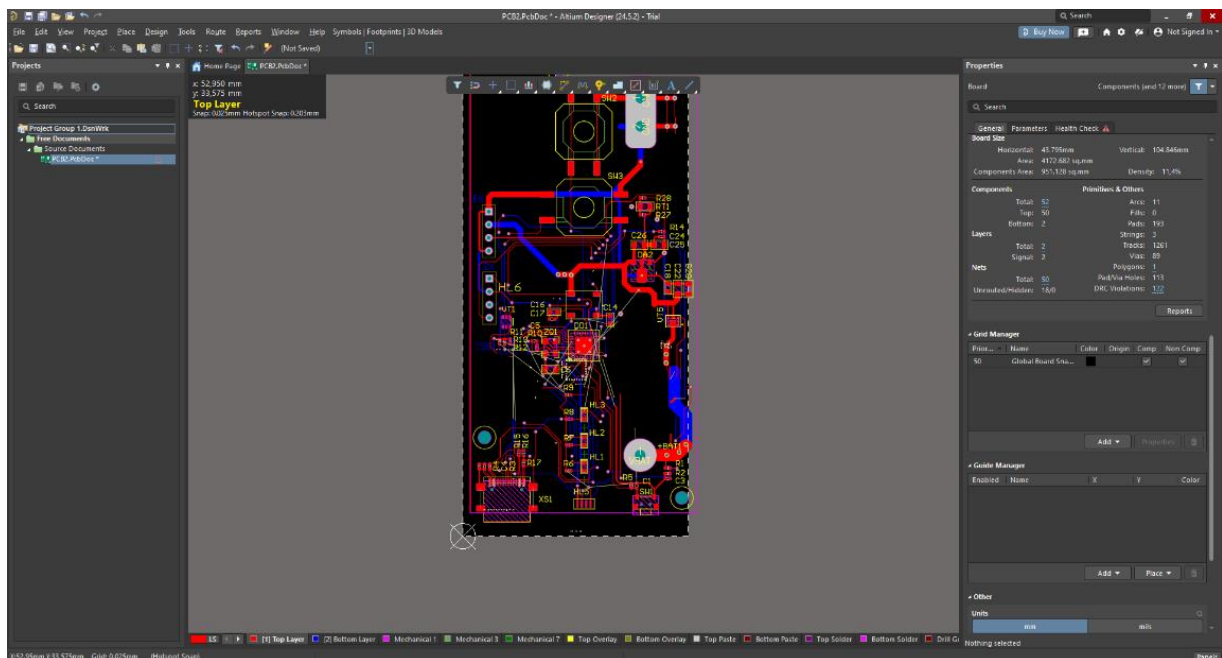


Рисунок 2.4 – Друкована плата у середовищі Altium Designer

Розробка друкованої плати (PCB) для генератора диму була виконана з урахуванням кількох ключових факторів, спрямованих на оптимізацію роботи пристрою, зручність зборки та підготовку до можливого серійного виробництва. Окрім розведення самої друкованої плати, програмне забезпечення Altium Designer дозволяє відтворити зображення друкованої плати у 3D-вимірі, щоб побачити як вона буде виглядати у реальності. Кінцевий результат зображення друкованої плати у 3D-виді можна побачити на рисунку 2.5.

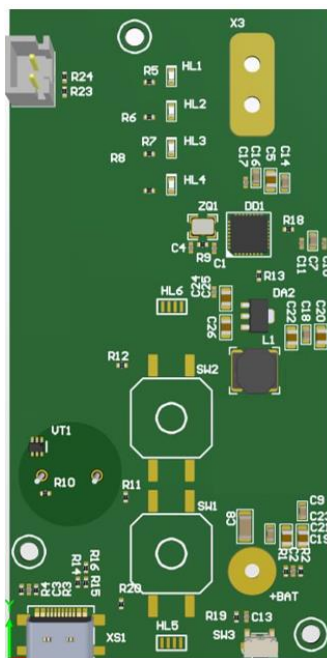


Рисунок 2.5 – Друкована плата у 3D-вимірі дослідного генератора диму

Перш за все, розташування компонентів на платі було спроектовано відповідно до габаритів і особливостей корпусу пристрою. Це дозволило забезпечити компактне і раціональне розміщення всіх елементів для зручності підключення та зборки. Основні компоненти, такі як контролер ESP32-C3, модуль зарядки, димогенератор і сенсори, розміщені таким чином, щоб забезпечити максимально зручний доступ під час складання, технічного обслуговування або заміни.

Ще одним важливим аспектом при розробці плати стало використання SMD компонентів. Більшість елементів на платі виконані в SMD форматі (Surface-Mount Device), що дозволило значно зменшити габарити плати і зробити її компактнішою. Такий підхід також дозволяє мінімізувати потребу в ручній пайці, що є критичним для автоматизації процесу виробництва. SMD компоненти забезпечують швидке і точне розміщення елементів на платі за допомогою автоматичних ліній для монтажу, що робить процес виготовлення серійної продукції значно ефективнішим [21].

Крім того, для створення серійної моделі плата була спроектована таким чином, щоб всі основні роз'єми, кнопки, індикатори та інші елементи мали

доступ до зовнішньої частини корпусу, що дозволяє швидко і зручно взаємодіяти з пристроєм. Це важливо для підвищення зручності користувача та зменшення часу на збірку кожної одиниці продукції.

Таким чином, розробка друкованої плати для генератора диму орієнтована на створення компактного, зручного у використанні пристрою, який можна легко виготовляти серійно з мінімальними витратами на ручну роботу, що значно прискорює процес виробництва та підвищує надійність кінцевого продукту.

2.3.2 Розробка корпусу

Завершивши розробку друкованої плати, наступним кроком є розробка корпусу, який б враховував розміри самої плати та її елементів, на якій будуть припаяні, а також щоб він був комфортним та практичним у використанні. Для цього завдання було обране програмне забезпечення для тривимірного моделювання SolidWorks. Приклад головного екрану з частиною змодельованого корпусу радіотехнічної системи показано на рисунку 2.6.

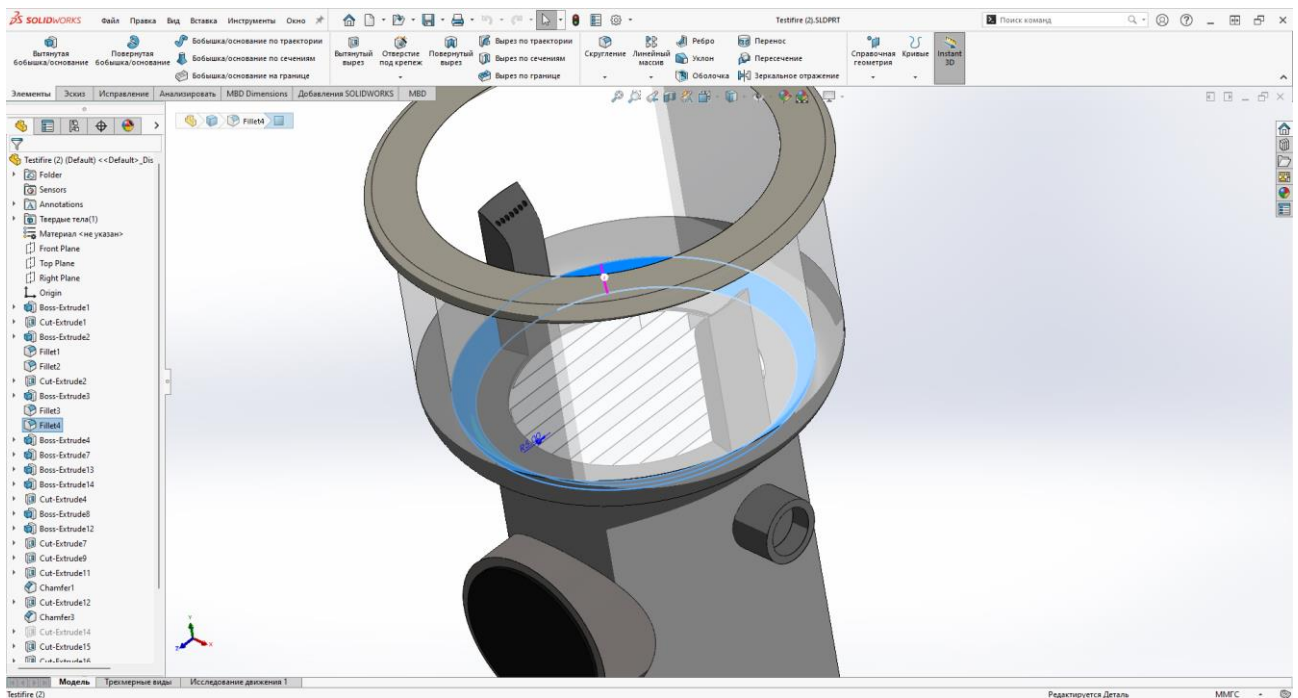


Рисунок 2.6 – Змодельований корпус у середовищі SolidWorks

Програмне середовище для тривимірного моделювання SolidWorks було обрано, з таких причин:

SolidWorks — це програмне забезпечення для тривимірного моделювання (3D CAD) від компанії Dassault Systèmes, яке широко використовується в інженерії, машинобудуванні, промисловому дизайні та інших галузях для створення тривимірних моделей, креслень, аналізу та симуляції механічних деталей і комплексних зборок. SolidWorks є потужним інструментом, який поєднує зручний інтерфейс, потужні функції для моделювання та аналізу, що дозволяє користувачам розробляти продукцію від початкової ідеї до готового виробу [22].

До основних функцій програмного забезпечення SolidWorks можна віднести:

1. Параметричне 3D-моделювання. SolidWorks підтримує параметричне моделювання, що дозволяє інженерам створювати моделі, параметри яких можна змінювати для швидкого створення різних варіантів одного і того ж продукту:

Ескізи (Sketches): базові двовимірні креслення, на основі яких будуються тривимірні моделі. Можливість створення детальних ескізів з розмірними параметрами є основою для формування 3D-геометрії.

Параметри і змінні: за допомогою змінних та параметрів можна змінювати розміри моделі безпосередньо, що дозволяє швидко вносити корективи та створювати конфігурації виробу.

Функції створення твердих тіл (Extrude, Revolve, Loft, Sweep): основні інструменти для побудови об'ємних моделей з 2D-ескізів.

2. Збірки (Assemblies). Збірки — це одна з основних складових SolidWorks, що дозволяє об'єднувати окремі деталі в єдину конструкцію:

Компонування: можливість розташовувати та з'єднувати компоненти, створюючи реалістичну симуляцію механічного пристрою.

Сполучення (Mates): SolidWorks дозволяє з'єднувати частини збірки за допомогою умов сполучення (прямолінійні, паралельні, осьові тощо), що обмежує рух деталей відносно одна одної та визначає їхні положення в зборі.

Інструменти для виявлення зіткнень: можливість аналізу наявності зіткнень між компонентами, що дозволяє уникнути помилок на етапі проектування.

Конфігурації: можна створювати кілька конфігурацій тієї самої збірки для різних робочих умов, що спрощує процес розробки варіантів продукту.

3. Креслення (Drawings). SolidWorks має потужні інструменти для створення креслень:

Автоматичне створення креслень: можливість створювати креслення з 3D-моделей одним натисканням, отримуючи види, розрізи, види в ізометрії та ін.

Внесення розмірів і анотацій: інструменти для додавання розмірів, приміток, допусків, що відповідають промисловим стандартам (наприклад, ISO та ANSI).

Специфікації та таблиці: створення автоматичних специфікацій для збірок, в яких відображаються всі деталі, їх кількість та інші параметри.

4. Аналіз і симуляція (Simulation). SolidWorks включає потужні інструменти для симуляції, що дозволяють проводити аналіз моделей ще на етапі проектування:

Статичний і динамічний аналіз: для визначення механічної поведінки конструкції під впливом різних навантажень.

Тепловий аналіз: аналіз розподілу тепла і температури, важливий для проектів, де відбувається виділення тепла.

Аналіз руху (Motion Analysis): дозволяє перевірити динамічну поведінку збірки, оцінити рухи частин і визначити реакції в точках з'єднання.

Випробування на міцність: модуль дозволяє перевірити надійність конструкцій, виявити слабкі місця в матеріалах, передбачити потенційні точки руйнування.

5. Твердотільне і поверхневе моделювання. SolidWorks підтримує не тільки твердотільне, але й поверхневе моделювання, що дозволяє створювати складні форми з гладкими поверхнями:

Інструменти для обробки поверхонь: дозволяють створювати різноманітні поверхневі елементи, об'єднувати, вирівнювати або редагувати поверхні для формування складних об'єктів.

Комбіноване моделювання: можливість поєднання твердих тіл і поверхонь в одному проєкті для створення складних моделей.

6. Візуалізація і рендеринг. SolidWorks включає інструменти для високоякісної візуалізації, що дозволяє побачити модель в реалістичному вигляді:

Photorealistic Rendering: створення фотореалістичних зображень і презентацій моделі.

Інструменти для застосування матеріалів: додавання текстур, кольорів і реалістичних властивостей матеріалів до деталей.

Анімація: можливість створення анімацій, які демонструють, як виглядає і працює кінцевий продукт, що особливо корисно для презентацій.

7. Інструменти для розробки форм (Mold Tools). SolidWorks підтримує інструменти для розробки форм, що особливо корисно при створенні пластикових деталей:

Аналіз на можливість формування: оцінка того, чи може деталь бути виготовлена методом лиття.

Інструменти створення прес-форм: моделювання форм для лиття пластмас, що включає створення ліній поділу, визначення витягів, кавіт і напрямів видалення.

8. Спільна робота та управління проєктами. SolidWorks має інструменти для командної роботи і управління проєктами:

SolidWorks PDM (Product Data Management): система для зберігання і управління файлами, що дозволяє контролювати версії проєктів та керувати доступом до них.

Спільний доступ: можливість надання доступу до проєктів колегам і партнерам, що полегшує спільну роботу.

Інтеграція з іншими CAD/CAE/PDM інструментами: дозволяє імпортувати та експортувати проекти в інші формати для роботи з суміжними програмами.

До переваг використання програмного забезпечення SolidWorks можна віднести:

1. Потужне 3D-моделювання: SolidWorks дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі, використовуючи інструменти параметричного і поверхневого моделювання.

2. Симуляція і аналіз: SolidWorks включає інструменти для аналізу навантажень, динамічного і теплового аналізу, що дозволяє інженерам оцінювати якість продукту ще на етапі проектування.

3. Підтримка інженерних стандартів: програмне забезпечення підтримує всі необхідні стандарти для створення креслень та документації, таких як ANSI, ISO, DIN тощо.

4. Візуалізація і презентації: SolidWorks забезпечує реалістичну візуалізацію продукту, що спрощує процес презентації для замовників і маркетингових цілей.

5. Інтеграція з виробничими процесами: підтримка розробки форм, можливість створення специфікацій і підготовка проекту до виробництва роблять SolidWorks зручним інструментом для впровадження продукту у виробництво.

Враховуючи вище сказане, використовуючи обране програмне забезпечення SolidWorks, корпус радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів був розроблений з урахуванням специфіки роботи пристрою, ергономіки та вимог до зручності використання. Кінцевий результат вигляду корпусу радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів розробленого у програмі SolidWorks продемонстровано нижче на рисунку 2.7.

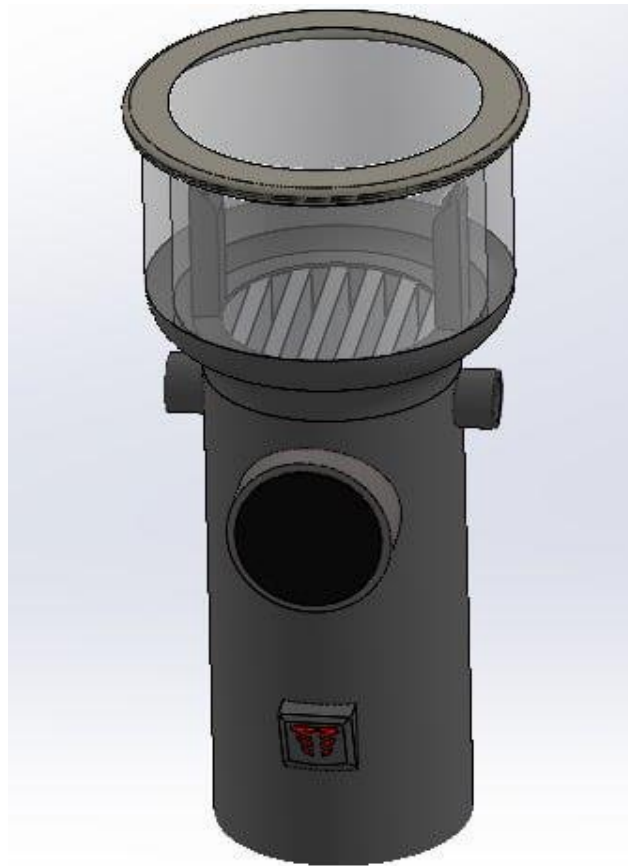


Рисунок 2.7 – Корпус дослідної радіотехнічної системи

Однією з ключових складових є наявність герметичної камери для заповнення димом, що дозволяє оптимально використовувати ресурси. Завдяки герметичності камери, потрібна менша кількість диму для успішного тестування димових сповіщувачів, оскільки дим не втрачається назовні, а залишається у замкнутому просторі, що дозволяє більш ефективно використовувати генератор диму.

Для забезпечення постійного потоку повітря через систему в корпусі передбачені захищені вентиляційні отвори, через які свіже повітря подається у камеру. Це необхідно для стабільної роботи помпи, яка прокачує повітря через систему, а також для підтримання постійної кількості диму під час тестування.

У корпусі також присутні спеціально розроблені повітряні канали, які забезпечують точну подачу диму безпосередньо в димовий сповіщувач. Це дозволяє ефективно моделювати ситуацію виникнення пожежі та перевіряти

чутливість і працездатність димових сповіщувачів. Сенсор відстані в корпусі розташований під кутом 90 градусів від каналу подачі диму. Таке розташування мінімізує ризик помилкових спрацьовувань сенсора через прямий потік диму, що важливо для точності роботи системи.

Корпус генератора диму має анатомічну форму, що дозволяє зручно тримати його в руці. Цей ергономічний дизайн важливий для комфортного тривалого використання пристрою під час тестування димових сповіщувачів на різних об'єктах. Крім того, на корпусі передбачена дублююча індикація, завдяки якій користувач може контролювати стан пристрою навіть тоді, коли піднімає його над головою. Індикація сигналізує про робочі стани, рівень заряду та інші важливі параметри.

Розташування кнопок керування та індикаторів рівня заряду було ретельно продумано для забезпечення легкого доступу до управління генератором під час його використання. Це підвищує зручність користування пристроєм, особливо в умовах інтенсивної експлуатації.

Таким чином, корпус радіотехнічної системи для генератора диму поєднує в собі функціональність, ергономічність і зручність використання, що робить його ідеальним для ефективного тестування димових сповіщувачів в різних умовах.

2.3.3 Розробка програмного забезпечення

Розробивши апаратну частину пристрою, можна помітити що вона не буде виконувати поставлені перед нею завдання, оскільки для неї потрібно розробити ще програмну частину. Отже, для повної реалізації дослідної радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів, кінцевим кроком є розробка програмного забезпечення, щоб розроблена система виконувала поставлені перед нею завдання. Для написання коду було використано програмне середовище Visual Studio Code. Головний екран середовища Visual Studio Code з частиною розробленого коду продемонстровано на рисунку 2.8.

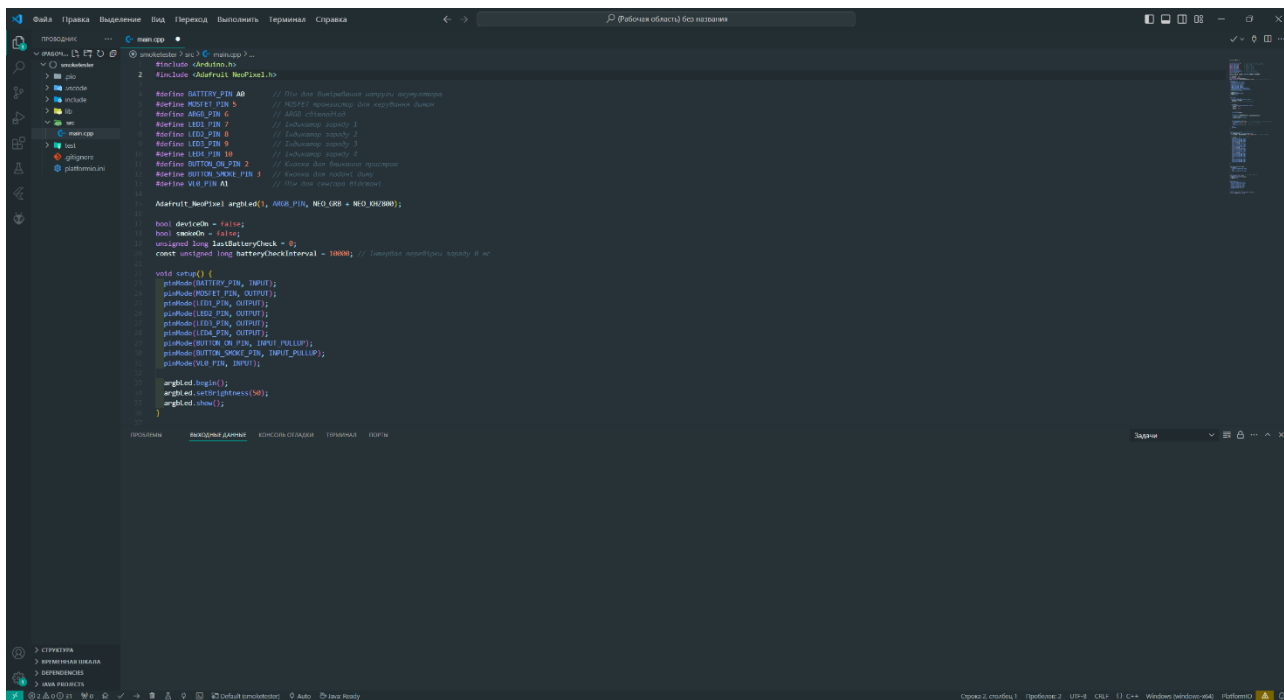


Рисунок 2.8 – Головний екран Visual Studio Code з кодом

Середовище для написання програм Visual Studio Code було обрано, тому що:

Visual Studio Code (VS Code) — це потужний, легкий і широко використовуваний текстовий редактор від компанії Microsoft, який підтримує розробку програмного забезпечення для багатьох мов програмування і платформ, включаючи Python, JavaScript, C/C++, та інші. Завдяки плагіну PlatformIO, VS Code стає повноцінним середовищем для розробки проектів з мікроконтролерами, як-от Arduino, STM32, ESP32 та інших. PlatformIO розширює можливості VS Code, перетворюючи його на професійний інструмент для розробників, надаючи доступ до великої кількості бібліотек, інструментів для налагодження та автоматизованих функцій.

До основни компонентів VS Code з PlatformIO можна віднести:

1. Графічний інтерфейс VS Code. Інтерфейс VS Code організований для зручності програміста.

Робоча область (Workspace): дає змогу одночасно працювати з кількома проектами та зручно організовувати файли.

Термінал: інтегрований термінал дозволяє користувачу виконувати команди прямо з редактора.

Експлорер файлів: ліворуч розташований провідник, де зберігаються всі файли проекту, що спрощує навігацію та організацію коду.

Панель розширень: дозволяє швидко знаходити та встановлювати розширення, такі як PlatformIO.

Вікно налагодження: дає можливість тестувати код, встановлювати точки зупину, слідкувати за змінними тощо.

2. PlatformIO як розширення для VS Code. PlatformIO — це середовище розробки з відкритим кодом, яке підтримує написання, компіляцію, налагодження та завантаження програмного забезпечення на мікроконтролери. Воно надає потужний інструментальний набір для VS Code, що включає:

Менеджер бібліотек: PlatformIO має власний менеджер бібліотек, який дозволяє легко знаходити, завантажувати та встановлювати бібліотеки для різних пристроїв, таких як сенсори, дисплеї, модулі зв'язку тощо.

Система управління проектами: кожен проект має свій файл `platformio.ini`, де налаштовуються такі параметри, як платформа (наприклад, Arduino, STM32, ESP32), середовище компіляції, бібліотеки тощо.

Автоматизована компіляція: PlatformIO дозволяє компілювати код автоматично під конкретні мікроконтролери, автоматично налаштовуючи параметри компілятора під вибрану платформу.

Налагодження: PlatformIO дозволяє встановлювати точки зупину, відстежувати значення змінних у реальному часі, і це надає змогу якісного налагодження проектів на низькому рівні[22].

Підтримка багатьох платформ: PlatformIO підтримує велику кількість мікроконтролерів, таких як Arduino, ESP8266, ESP32, STM32, Nordic NRF52, Raspberry Pi та багато інших. Це дозволяє розробникам працювати з кількома платформами в одному середовищі.

3. Файл конфігурації `platformio.ini`. Файл `platformio.ini` — це головний файл налаштувань проекту PlatformIO. В ньому задаються такі параметри:

Платформа: визначає тип мікроконтролера (наприклад, `atmelavr` для Arduino, `espressif32` для ESP32).

Середовище: параметри, специфічні для даного середовища, як-от тип плати (`board`), бібліотеки (`lib_deps`), опції компіляції тощо.

Налаштування завантаження: у цьому файлі можна вказати різні параметри завантаження, включаючи вибір порту для завантаження, швидкість передачі даних тощо.

4. Скетчі та структура коду. У PlatformIO проекти організовані з певною структурою:

`Src` - основна папка проекту, де знаходиться код, написаний користувачем. Головний файл коду зазвичай має назву `main.cpp`.

`Lib` - бібліотеки проекту. Можна додавати власні бібліотеки або використовувати ті, які завантажуються з менеджера бібліотек PlatformIO.

`Include` - містить заголовочні файли, що можуть бути необхідні для організації коду.

`Test` - папка для тестування компонентів проекту, яка може бути корисною для проведення автоматичних тестів.

5. Код і компіляція. У VS Code з PlatformIO код пишеться в стандартному редакторі VS Code. PlatformIO підтримує автодоповнення, що прискорює написання коду і зменшує кількість помилок. При натисканні кнопки компіляції PlatformIO автоматично виконує компіляцію з урахуванням налаштувань, визначених у `platformio.ini`, що дозволяє створювати кросплатформені проекти.

6. Завантаження коду на плату. PlatformIO автоматично визначає підключені пристрої і дозволяє завантажувати код на плату без потреби у додаткових налаштуваннях. Під час завантаження коду відбувається автоматична компіляція і перевірка коду, що мінімізує ризик виникнення помилок під час виконання.

7. Серійний монітор і налагодження. PlatformIO інтегрує серійний монітор, який дозволяє взаємодіяти з платою в режимі реального часу, як у класичному Arduino IDE. Окрім цього, PlatformIO підтримує налагодження на низькому

рівні, що особливо корисно для розробки складних проектів, де потрібно відстежувати стан змінних, виявляти помилки в логіці та оптимізувати виконання коду.

8. Менеджер бібліотек. PlatformIO має розширену систему управління бібліотеками, що надає доступ до тисяч бібліотек для різних компонентів та модулів. Це дозволяє автоматично завантажувати бібліотеки, вказані у `platformio.ini`, та використовувати їх у проекті без необхідності ручного додавання.

9. Спільнота та ресурси. PlatformIO і VS Code мають велику та активну спільноту, де можна отримати підтримку, знайти документацію та приклади проектів. Завдяки активним форумам, а також репозиторіям на GitHub, розробники мають доступ до безлічі ресурсів та можуть знаходити рішення для своїх проектів.

До переваг використання PlatformIO з VS Code є:

1. Потужне середовище розробки: VS Code з PlatformIO є гнучким і багатофункціональним середовищем розробки для проектів з мікроконтролерами.

2. Інтегровані інструменти налагодження: підтримка низькорівневого налагодження дозволяє швидше знаходити та усувати помилки.

3. Кросплатформеність: PlatformIO підтримує безліч платформ і плат, що дозволяє використовувати один і той самий проект для різних мікроконтролерів.

4. Зручний менеджер бібліотек: PlatformIO дозволяє автоматично встановлювати бібліотеки, що прискорює розробку та спрощує управління залежностями.

5. Активна спільнота: підтримка і велика кількість прикладів від спільноти, що значно полегшує процес навчання та розробки.

При написанні програмного коду було використано декілька бібліотек, такі як:

1. Бібліотека Arduino.h.

Це стандартна бібліотека для програмування в середовищі Arduino, яка містить основні функції для роботи з апаратними компонентами.

Arduino.h надає доступ до базових функцій, таких як pinMode, digitalWrite, digitalRead, analogRead, delay, і функції для роботи з таймером (millis). Ці функції є основою для керування входами та виходами мікроконтролера, що необхідно для реалізації всіх основних завдань у програмі.

Arduino.h дозволяє абстрагувати низькорівневе управління мікроконтролером, забезпечуючи простий доступ до функцій роботи з піном, таймерами і базовою логікою для пристроїв на платформі Arduino.

2. Бібліотека Adafruit_NeoPixel.h

Бібліотека призначена для роботи з адресованими RGB-світлодіодами NeoPixel (WS2812B), які можуть змінювати колір кожного світлодіода індивідуально.

Причина використання у коді ARGB світлодіод (WS2812B), бо він використовується для візуальної індикації стану пристрою, наприклад, для сигналізації про низький заряд акумулятора або про наявність об'єкта. Бібліотека Adafruit_NeoPixel дозволяє легко керувати кольором і яскравістю цього світлодіода.

Особливостями Adafruit_NeoPixel є підтримка гнучкого управління RGB-світлодіодами з високою частотою оновлення та можливістю налаштування яскравості, що дозволяє створювати різноманітні візуальні ефекти.

Функції для управління світлодіодами вміщує в собі бібліотека Adafruit_NeoPixel, такі як setPixelColor та show, для зміни кольору світлодіода та відображення змін. Це дозволяє змінювати колір ARGB світлодіода на червоний або зелений залежно від стану пристрою.

Індикація у коді використовує функцію Color для встановлення кольорів світлодіода, що дозволяє легко контролювати індикацію, наприклад, червоний колір для сигналу тривоги та зелений для нормального стану.

Готовий лістинг коду для радіотехнічної системи продемонстровано нижче.

Лістинг коду:

```
#include <Arduino.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

#define BATTERY_PIN A0          // Пін для вимірювання напруги
акумулятора
#define MOSFET_PIN 5           // MOSFET транзистор для керування димом
#define ARGB_PIN 6             // ARGB світлодіод
#define LED1_PIN 7             // Індикатор заряду 1
#define LED2_PIN 8             // Індикатор заряду 2
#define LED3_PIN 9             // Індикатор заряду 3
#define LED4_PIN 10            // Індикатор заряду 4
#define BUTTON_ON_PIN 2        // Кнопка для вмикання пристрою
#define BUTTON_SMOKE_PIN 3     // Кнопка для подачі диму
#define VL0_PIN A1            // Пін для сенсора відстані

Adafruit_NeoPixel argbLed(1, ARGB_PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);

bool deviceOn = false;
bool smokeOn = false;
unsigned long lastBatteryCheck = 0;
const unsigned long batteryCheckInterval = 10000; // Інтервал
перевірки заряду в мс

void setup() {
  pinMode(BATTERY_PIN, INPUT);
  pinMode(MOSFET_PIN, OUTPUT);
  pinMode(LED1_PIN, OUTPUT);
  pinMode(LED2_PIN, OUTPUT);
  pinMode(LED3_PIN, OUTPUT);
  pinMode(LED4_PIN, OUTPUT);
  pinMode(BUTTON_ON_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(BUTTON_SMOKE_PIN, INPUT_PULLUP);
  pinMode(VL0_PIN, INPUT);

  argbLed.begin();
  argbLed.setBrightness(50);
  argbLed.show();
}

void loop() {
  // Читання стану кнопок
  if (digitalRead(BUTTON_ON_PIN) == LOW) {
    deviceOn = !deviceOn;
    delay(200); // Захист від "дребезгу" кнопки
  }
}
```

```

if (deviceOn) {
    if (digitalRead(BUTTON_SMOKE_PIN) == LOW) {
        smokeOn = true;
    } else {
        smokeOn = false;
    }

    // Обробка диму
    controlSmoke(smokeOn);

    // Читання заряду акумулятора
    if (millis() - lastBatteryCheck >= batteryCheckInterval) {
        checkBatteryLevel();
        lastBatteryCheck = millis();
    }

    // Обробка сенсора відстані
    if (analogRead(VL0_PIN) > 500) { // Порогове значення для
визначення присутності
        showARGB(Color(255, 0, 0)); // Червоний, якщо присутній
    } else {
        showARGB(Color(0, 255, 0)); // Зелений, якщо відсутній
    }
} else {
    turnOff();
}
}

// Функція для вимірювання та індикації рівня заряду
void checkBatteryLevel() {
    int batteryVoltage = analogRead(BATTERY_PIN);
    float voltage = batteryVoltage * (5.0 / 1023.0) * 2; // Корекція
на ділення

    // Індикатор заряду на основі напруги
    if (voltage > 4.0) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED3_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED4_PIN, HIGH);
    } else if (voltage > 3.7) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED3_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    } else if (voltage > 3.5) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    } else if (voltage > 3.3) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, LOW);
    }
}

```

```

        digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    } else {
        digitalWrite(LED1_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED2_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    }
}

// Функція для управління димом
void controlSmoke(bool state) {
    if (state) {
        digitalWrite(MOSFET_PIN, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(MOSFET_PIN, LOW);
    }
}

// Функція для відображення кольору на ARGB світлодіоді
void showARGB(uint32_t color) {
    argbLed.setPixelColor(0, color);
    argbLed.show();
}

// Функція для вимикання пристрою
void turnOff() {
    digitalWrite(MOSFET_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED1_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED2_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    showARGB(Color(0, 0, 0));
}

// Функція для встановлення кольору
uint32_t Color(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b) {
    return argbLed.Color(r, g, b);
}

```

2.4 Висновки до розділу

У другому розділі проведено комплексну розробку радіотехнічної системи для тестування димових сповіщувачів. На основі аналізу розроблено структурну схему радіотехнічної системи, яка відображає основні функціональні блоки та їх взаємозв'язки.

Подальшим етапом була розробка принципової схеми , яка враховує вибір компонентів та визначає функціонування системи. Було спроектовано друковану плату, що забезпечує компактність і надійність системи. Останнім етапом стало створення конструктивного дизайну корпусу, що дозволяє інтегрувати всі компоненти в єдиний пристрій, який відповідає вимогам до ергономіки та зручності експлуатації.

Таким чином, у цьому розділі було закладено фундамент для подальшого виготовлення та тестування пристрою, що демонструє високий рівень інтеграції апаратних та програмних засобів для забезпечення ефективного тестування димових сповіщувачів.

З ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Опис установки для проведення експериментальних досліджень

Димотестер є пристроєм для тестування димових сповіщувачів, що забезпечує створення контрольованого димового середовища. Це дозволяє перевіряти працездатність сповіщувачів у різних умовах концентрації диму. Основна ідея полягає у тому, що тестер генерує потік диму, схожий на реальний дим від вогню, та імітує умови, які могли б викликати спрацювання сигналізації у випадку виникнення пожежі. Унікальність тестера полягає у тому, що він дозволяє отримати точний рівень концентрації диму, який потрібен для того, щоб сповіщувач активувався [23].

Генератор диму є центральним елементом димотестера. Він складається з картриджа, заповненого спеціальною фог-рідиною, яка при контакті з повітрям перетворюється на аерозоль. Помпа створює потік повітря, який проходить крізь картридж, спричиняючи випаровування рідини та формування контрольованого потоку диму. Важливо, що система дозволяє точно дозувати кількість диму, створюючи умови, схожі на реальні випадки задимлення.

Фог-рідина обрана таким чином, щоб забезпечувати стійкість аерозолі, схожого на частинки диму. Це дозволяє тримати димову завісу протягом тривалого часу, поки сповіщувач не відреагує, або поки тест не буде завершений.

Важливою особливістю тестера є наявність ізольованої камери, яка дозволяє уникнути втрат диму у навколишнє середовище. Камера обладнана каналом для подачі диму та спеціальними вентиляційними отворами для рівномірного заповнення простору димом. Це зменшує витрати рідини і дозволяє створити стабільну концентрацію диму всередині камери.

Мікроконтролер ESP32-C3 забезпечує повний контроль над пристроєм. Він відповідає за включення помпи, регулювання швидкості її роботи, управління світлодіодною індикацією, а також зв'язок з іншими сенсорами.

Мікроконтролер автоматично визначає, коли потрібна подача диму, і регулює об'єм диму, що подається до камери.

Мікроконтролер також має модуль бездротового зв'язку, що дозволяє контролювати роботу димотестера, отримувати дані про концентрацію диму та статус роботи пристрою.

1) Сенсор відстані VL53L0X — вимірює відстань до сповіщувача, що тестується, і підтверджує його присутність у камері. Він допомагає мікроконтролеру розпочати тестування автоматично, коли сповіщувач знаходиться у потрібному положенні.

2) Інші сенсори, такі як сенсори температури та вологості, дозволяють стежити за умовами в камері, оскільки ці параметри можуть впливати на реакцію диму і на спрацювання димового сповіщувача.

Тестер обладнаний акумулятором, який дозволяє йому працювати автономно. Мікроконтролер також відстежує рівень заряду, і в разі необхідності сигналізує про низький рівень батареї за допомогою індикаторів. Це забезпечує безперебійну роботу пристрою і дозволяє уникнути перебоїв під час тестування.

Перед початком тестування димовий сповіщувач розташовується у тестовій камері, де фіксується сенсором відстані. Після підтвердження наявності сповіщувача мікроконтролер запускає процес генерації диму. Камера герметично закривається, щоб дим не виходив назовні, і забезпечує можливість точного контролю за рівнем концентрації диму всередині [24].

Мікроконтролер активує помпу, яка прокачує повітря через картридж із фог-рідиною. Повітря проходить через рідину, перетворюючи її на дрібнодисперсні частинки, що утворюють дим. Таким чином, дим заповнює камеру, імітуючи умови реального задимлення. Мікроконтролер регулює тривалість роботи помпи та об'єм диму, що подається.

Коли рівень диму досягає певної концентрації, частинки диму починають проникати в камеру димового сповіщувача. Сповіщувач реагує на присутність диму за допомогою одного з методів виявлення:

1) Оптичні сповіщувачі реєструють зміну інтенсивності світлового променя всередині своєї камери. Коли димові частинки розсіюють світло, сигнал тривоги активується.

2) Іонізаційні сповіщувачі реагують на зміну іонізації середовища внаслідок взаємодії диму з радіоактивним ізотопом у камері сповіщувача. При зміні струму між електродами спрацьовує сигнал тривоги.

Завдяки цьому можна оцінити чутливість сповіщувача та порівняти її з нормативними вимогами, визначити, чи здатний сповіщувач вчасно виявити дим.

Після того, як сповіщувач активував сигнал тривоги, мікроконтролер зупиняє роботу помпи, а камера провітрюється. Оператор аналізує час, який був потрібний для активації сигналу, та проводить оцінку відповідності сповіщувача стандартам.

1) Точність і надійність тестування — контрольована концентрація диму дозволяє отримати точні результати і знизити кількість помилкових тривог.

2) Автоматизація процесу — сенсори і мікроконтролер автоматизують роботу, забезпечуючи мінімальне втручання оператора.

3) Енергоефективність — система живлення і оптимізоване управління помпою забезпечують тривалу автономну роботу пристрою.

4) Ергономічність та простота використання — анатомічна форма корпусу та інтуїтивно зрозуміле управління дозволяють легко користуватись пристроєм навіть при регулярному тестуванні [25].

Зібрані дані під час тестування дозволяють оцінити якість та стабільність роботи димового сповіщувача, а також відповідність його нормативним вимогам. Оператор визначає час реакції та чутливість сповіщувача, порівнює їх із встановленими нормативами.

Таким чином, димотестер є важливим інструментом для забезпечення пожежної безпеки, оскільки дозволяє оперативно та точно тестувати димові сповіщувачі, гарантуючи їхню працездатність у реальних умовах експлуатації.

3.2 Експериментальне дослідження дослідного зразку за обсягами випущеного диму

Експериментальне дослідження роботи радіотехнічної системи для тестування димових сповіщувачів проводилося з метою визначення обсягів випущеного диму та стабільності подачі димового потоку. Важливим аспектом є оцінка роботи мініатюрного повітряного насоса, який створює повітряний потік і забезпечує продування картриджа з фог-рідиною для утворення диму [26].

Для формування димового потоку використовується мініатюрний повітряний насос із наступними характеристиками:

- 1) Діапазон тиску: -450 mmHg ~ 900 mmHg (-60 Кра ~ 120 Кра);
- 2) Повітряний потік: 2,8 LPM;
- 3) Живлення: 3,7 V / 550 mA;
- 4) Робочий температурний діапазон: 0–55 °C;
- 5) Розміри: 58x27 мм.

3.2.1 Опис процедури експерименту

Для визначення обсягів випущеного диму було встановлено цикл подачі повітря, який забезпечує періодичне продування картриджа з фог-рідиною [27]. Цей процес включає такі етапи:

1. подача диму протягом 5 секунд: Повітряний насос активується і прокачує повітря через картридж, створюючи потік диму.
2. Перерва 5 секунд: Насос відключається, що призводить до припинення подачі диму.
3. Циклічність подачі: Цикл із подачею диму на 5 секунд і перервою на 5 секунд повторюється протягом 2 хвилин.

Основна мета експерименту полягала у визначенні:

- Стабільності подачі диму при заданому режимі роботи насоса.
- Обсягу диму, що виділяється в камеру тестування.

- Відповідності обсягів випущеного диму нормативним вимогам для активації димових сповіщувачів у стандартних умовах.

Проведення експерименту

1. Підготовка до тестування: Димовий сповіщувач розташовувався у тестовій камері, ізольованій для запобігання втратам диму в навколишнє середовище.

2. Налаштування насоса: Встановлено параметри роботи насоса для подачі повітря з потоком 2,8 LPM.

3. Запуск циклу подачі диму: Насос активувався, прокачуючи повітря через фог-картридж, що забезпечувало створення контрольованого димового потоку протягом 2 хвилин за схемою 5 секунд подачі, 5 секунд перерви.

4. Вимірювання обсягу диму: Протягом експерименту проводився контроль рівня концентрації диму всередині камери, а також оцінювалася його рівномірність та стабільність у заданих інтервалах [28].

Демонстрація проведення експерименту з використанням розробленої радіотехнічної системи і димових сповіщувачів показана нижче на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Проведення експерименту з дослідним зразком

3.2.2 Результати експерименту

1. Стабільність подачі диму: Експеримент показав, що мініатюрний повітряний насос забезпечує стабільну подачу повітряного потоку з достатньою силою для ефективного продування картриджа і формування диму. Періодична подача повітря (5 секунд включення та 5 секунд відключення) дозволила досягти рівномірного розподілу диму в камері, а також знизити ймовірність перенасичення середовища.

2. Спрацювання димового сповіщувача DETECTO SMK100: Дослідження показало, що першої подачі диму тривалістю 5 секунд достатньо для активації димового сповіщувача DETECTO SMK100, що свідчить про досягнення необхідної концентрації диму за цей короткий період часу. Розрахований обсяг диму, який забезпечує це спрацювання, складає приблизно 2,3–2,8 літрів повітряного потоку, що проходить крізь картридж за 5 секунд.

3. Обсяги диму та відповідність нормативним вимогам: Вимірювання показали, що при подачі диму на рівні 2,8 LPM розподіл часток в камері досягає достатньої концентрації для активації димових сповіщувачів протягом заданого часу. Така циклічність подачі дозволяє тестувати сповіщувачі в умовах змінної концентрації диму, що є наближеним до реальних умов виникнення пожежі.

4. Економічність подачі диму: Циклічність подачі диму, що включає перерви між короткими періодами генерації, є економічно вигідною, оскільки зменшує витрати рідини у картриджі та споживання енергії. Такий режим роботи дозволяє значно продовжити час автономної роботи пристрою, що робить систему більш економічною та ефективною в експлуатації, забезпечуючи економію ресурсів без втрати ефективності тестування.

5. Температурний режим: Робоча температура насоса залишалася в межах допустимих значень (0–55 °C) під час усіх експериментальних тестів, що забезпечує стабільність і довговічність його роботи.

Експериментальні дослідження показали, що обраний режим роботи повітряного насоса дозволяє ефективно формувати димову завісу з контрольованими параметрами концентрації. Це забезпечує надійність і точність

тестування димових сповіщувачів у різних умовах. Першого циклу подачі диму тривалістю 5 секунд достатньо для активації димового сповіщувача DETECTO SMK100, що підтверджує оптимальність такого режиму роботи. Циклічність подачі диму, а саме 5 секунд подачі та 5 секунд перерви протягом 2 хвилин, виявилася ефективною для досягнення необхідної концентрації диму в камері, що відповідає нормативним вимогам і забезпечує стабільну активацію тестованих сповіщувачів. Додаткова економічність подачі диму дозволяє зменшити витрати ресурсів, таких як енергія та фог-рідина, роблячи систему більш ефективною та ресурсозберігаючою.

3.3 Експериментальне дослідження за енергоефективністю

Енергоефективність розробленої радіотехнічної системи для тестування димових сповіщувачів є ключовою перевагою, яка визначає її конкурентоспроможність на ринку. Проведені дослідження показали, що завдяки ретельній оптимізації алгоритмів споживання енергії та використанню сучасних енергозберігаючих компонентів, система забезпечує тривалу автономну роботу навіть при інтенсивному використанні. Порівняно з аналогічними пристроями, такими як комплект КТП-1, розроблена система демонструє значно вищу енергоефективність [29].

Одним із ключових елементів, що забезпечують низьке енергоспоживання, є застосування мікроконтролера ESP32-C3. Завдяки інтеграції режимів глибокого сну (Deep Sleep) та динамічного управління енергоспоживанням, пристрій автоматично переходить у низькоенергетичний режим, коли активність генерації диму чи сенсорного моніторингу не потрібна. У цьому режимі споживання енергії знижується до 0,03 Вт, що є суттєво нижчим показником порівняно з іншими пристроями.

Інноваційна система порційної подачі диму дозволяє не лише знизити витрати енергії, але й значно підвищити точність тестування. Традиційні системи, такі як КТП-1, генерують дим безперервно, що призводить до

перевитрати енергії та матеріалів. У розробленій системі генерація диму запускається лише у необхідні моменти, що дозволяє економити ресурс акумулятора та збільшити кількість проведених тестів на одному заряді.

Під час досліджень було протестовано кілька типів акумуляторів різної ємності. Найкращі результати були отримані при використанні літій-іонного акумулятора ємністю 3000 мА·год. На одному заряді пристрій міг виконати до 500 тестів із середньою тривалістю кожного тестування 2 хвилини. Для порівняння, аналогічні пристрої, такі як КТП-1, потребують батарей більшої ємності (до 5000 мА·год) для досягнення подібних результатів, але водночас мають обмеження у мобільності через високий рівень енергоспоживання.

Розроблена система здатна працювати автономно протягом 24 годин у режимі інтенсивного тестування або до 72 годин у режимі періодичної активації. Для порівняння, комплект КТП-1 демонструє лише 8–10 годин автономної роботи за аналогічних умов. Така значна різниця забезпечується оптимізованими алгоритмами управління генерацією диму та зниженням активного енергоспоживання мікроконтролера [30].

У ході експериментального дослідження було виконано порівняння енергоефективності розробленої системи з комплектом КТП-1 та іншими аналогічними пристроями. Результати свідчать, що розроблена система в середньому на 60% енергоефективніша за КТП-1 і на 40% за аналогічні системи інших виробників.

Система була протестована в різних середовищах, включаючи житлові приміщення, промислові об'єкти та відкриті території. У кожному з цих сценаріїв розроблена система показала стабільність роботи та високу енергоефективність. У польових умовах, де можливості підзарядки акумулятора обмежені, система забезпечила проведення 200 тестів за один робочий день, що значно перевищує можливості КТП-1.

Додатковою перевагою розробленої системи є можливість налаштування режимів енергоспоживання через мобільний додаток або інтерфейс управління. Оператор може вибирати між інтенсивним режимом, коли потрібно виконати

максимальну кількість тестів за короткий час, та енергоощадним режимом для тривалих операцій.

Висока енергоефективність не лише знижує витрати на експлуатацію, але й дозволяє використовувати менш дорогі та компактні акумулятори, що зменшує загальну вартість системи. Для об'єктів із великим парком димових сповіщувачів це може означати суттєве скорочення витрат на обслуговування.

Результати експериментального дослідження підтвердили, що розроблена система забезпечує значно вищу енергоефективність порівняно з аналогами. Це дозволяє використовувати її у широкому спектрі застосувань, знижуючи витрати та забезпечуючи стабільну роботу в автономному режимі. Така характеристика робить розроблену систему перспективною для використання в сучасних автоматизованих рішеннях пожежної безпеки [31].

3.3.1 Технічні характеристики енергоспоживання

Для роботи розробленої системи використовується акумулятор ємністю 4000 мА·год, який забезпечує тривалу автономну роботу пристрою без потреби в зовнішньому джерелі живлення. Пристрій споживає приблизно 3,5 А під час активної генерації диму, що в поєднанні з порційним режимом подачі диму дозволяє зменшити загальне споживання енергії та збільшити час роботи від одного заряду акумулятора.

У порівнянні з цим, комплект КТП-1 споживає більше 9 А під час генерації диму. Такий рівень енергоспоживання зумовлений відсутністю порційної подачі диму, оскільки пристрій працює в безперервному режимі подачі, що швидко виснажує акумулятор. Для забезпечення стабільної роботи КТП-1 потребує використання зовнішнього джерела живлення, такого як 12-вольтовий акумулятор ємністю 9 ампер-годин.

3.3.2 Порційна подача диму та її вплив на енергоефективність

Однією з важливих особливостей розробленої системи є режим порційної подачі диму, що реалізований через цикл 5 секунд подачі та 5 секунд перерви.

Такий режим дозволяє економно витратити заряд акумулятора, зменшуючи загальне навантаження на джерело живлення. Завдяки цьому час роботи пристрою значно збільшується навіть при використанні акумулятора меншої ємності [32].

Розрахунки показують, що в умовах експерименту з циклічністю 5 секунд роботи та 5 секунд перерви загальний час генерації диму від одного заряду акумулятора ємністю 4000 мА·год значно перевищує час роботи комплекту КТП-1 за рахунок меншого споживання енергії. Результати енергоспоживання дослідного зразку та конкурента показано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняльна характеристика енергоспоживання

Параметр	Розроблена радіотехнічна система	Комплект КТП-1
Ємність акумулятора	4000 мА·год	12 В, 9 А·год
Режим роботи	Порційна подача диму	Безперервна подача диму
Енергоспоживання	3,5 А під час подачі	>9 А під час подачі
Автономність роботи	Тривала, завдяки порційності	Обмежена, потребує зовнішнього джерела живлення
Індикація заряду	На 4 світлодіодах	Відсутня

3.3.3 Вплив на час роботи та зручність використання

Завдяки економному споживанню енергії, розроблена система здатна працювати тривалий час від акумулятора, що робить її більш зручною для використання в умовах, де підключення до зовнішнього живлення обмежене або взагалі відсутнє. Комплект КТП-1, маючи безперервний режим генерації диму та високе енергоспоживання, не може функціонувати на внутрішньому акумуляторі достатньо тривалий час. Це обмежує його мобільність та вимагає постійного підключення до джерела живлення ємністю 9 А·год, що є громіздким і знижує

зручність використання пристрою на об'єктах з великою кількістю димових сповіщувачів або в умовах складного доступу.

3.3.4 Переваги індикації рівня заряду

Розроблена система оснащена RGB-індикацією, яка сигналізує про рівень заряду акумулятора, що дозволяє оператору вчасно визначати потребу в підзарядці пристрою. Така функціональність підвищує надійність роботи системи та забезпечує безперервне тестування без ризику раптового вимкнення. Комплект КТП-1 не має вбудованої індикації рівня заряду, що може призвести до непередбачуваних перебоїв у роботі через розряд акумулятора.

Експериментальне дослідження енергоефективності показало, що розроблена система значно перевершує аналогічні пристрої за показниками економічності. Завдяки режиму порційної подачі диму система забезпечує тривалий час роботи від компактного акумулятора ємністю 4000 мА·год, що робить її більш мобільною та зручною для використання в умовах, де немає доступу до стаціонарного живлення. Порівняно з комплектом КТП-1, який потребує високої ємності зовнішнього джерела живлення та постійного підключення, розроблена система є більш енергоефективною та надійною, забезпечуючи стабільність роботи та економію ресурсів, таких як енергія та рідина для генерації диму.

3.4 Аналіз результату експериментального дослідження

Порівняння розробленої радіотехнічної системи для тестування димових сповіщувачів з комплектом КТП-1 дозволяє продемонструвати переваги та унікальні особливості цієї системи в порівнянні з існуючими аналогами. Обидва пристрої виконують функцію тестування димових сповіщувачів, однак підхід до виконання цієї задачі, функціональні можливості та зручність використання відрізняються. Порівняння розробленої радіотехнічної системи з комплектом КТП-1 показано у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика аналога з дослідним зразком

Параметр	Розроблена радіотехнічна система	Комплект КТП-1
Призначення	Автоматизоване тестування димових сповіщувачів з використанням контрольованої концентрації диму	Тестування димових і теплових сповіщувачів шляхом створення диму та теплового впливу
Ізольована камера	Є, для точного контролю концентрації диму	Немає, дим розповсюджується у навколишнє середовище
Генерація диму	Керована генерація з дозованим потоком	Механічне створення диму від нагріву паливного матеріалу
Сенсори та управління	Мікроконтролер ESP32-C3 для автоматизації, лазерний сенсор для розпізнавання об'єкта	Відсутні, керування здійснюється вручну
Індикація стану	RGB світлодіоди, індикація рівня заряду, сигналізація різних режимів	Мінімальна індикація, обмежена фізичним індикатором на корпусі
Живлення	Акумулятор із зарядним контролером, що забезпечує автономну роботу	Зовнішнє живлення, потребує постійного підключення або заміни батарей
Дистанційне керування	Є, за допомогою модуля бездротового зв'язку	Відсутнє

Провівши ряд експериментів, було визначено переваги розробленої системи, такі як:

1. Точний контроль концентрації диму. Ізольована камера дозволяє не тільки уникнути втрат диму в навколишнє середовище, але й забезпечити стабільний рівень концентрації, що дозволяє досягти більш точних результатів

тестування. Комплект КТП-1, не маючи ізолюваної камери, не забезпечує належного контролю концентрації диму, що може впливати на точність тестування [33].

2. Автоматизація та сенсорний контроль. Мікроконтролер ESP32-C3 автоматизує більшість процесів, таких як активація генератора диму, контроль за концентрацією та індикація. Система також може автоматично розпочинати тестування після виявлення димового сповіщувача в камері завдяки лазерному сенсору відстані. У КТП-1 відсутня автоматизація процесів, а керування генерацією диму відбувається вручну, що потребує більше часу та уваги від оператора.

3. Енергоефективність та автономність. Пристрій працює від акумулятора, що забезпечує портативність та довготривалу автономну роботу без необхідності в постійному підключенні до електромережі. У КТП-1 використовується зовнішнє живлення, що знижує мобільність та вимагає частого підключення до джерела живлення або заміни батарей.

4. Бездротовий моніторинг та дистанційне управління. Завдяки модулю бездротового зв'язку систему можна контролювати дистанційно, що значно підвищує зручність роботи з нею у великих приміщеннях або у випадку, коли доступ до сповіщувачів ускладнений. Комплект КТП-1 не має таких функцій, що обмежує його гнучкість в експлуатації.

5. Ергономіка та зручність використання. Система має анатомічний корпус з зручною системою індикації, яка дозволяє користувачу легко стежити за станом генерації диму, рівнем заряду та іншими параметрами. У КТП-1 індикація обмежена, що може ускладнювати його використання, особливо в умовах недостатнього освітлення.

До недоліків аналога КТП-1 порівняно з розробленою системою можна віднести:

1. Відсутність ізоляції диму. Через відсутність ізолюваної камери для диму КТП-1 не забезпечує точного контролю концентрації диму, що може

впливати на результати тестування і підвищувати ризик хибних спрацювань сповіщувачів.

2. Механічне керування. Всі операції з генерацією диму у КТП-1 здійснюються вручну, що вимагає додаткових зусиль та часу від оператора.

3. Потреба у постійному зовнішньому живленні. Через необхідність постійного підключення до джерела живлення або заміни батарей КТП-1 менш зручний у використанні для автономного тестування.

Обмежені можливості індикації та відсутність дистанційного керування. КТП-1 не має багатофункціональної індикації або бездротового зв'язку, що обмежує його зручність та гнучкість при тестуванні.

6. Гнучкість налаштувань для різних сценаріїв тестування. Однією з ключових переваг розробленої системи є можливість адаптації до різних умов тестування. Завдяки програмованому контролеру ESP32-C3, система може підтримувати кілька режимів роботи: від швидкого тестування димових сповіщувачів до тривалого тестування з імітацією різних рівнів концентрації диму. Наприклад, система може генерувати низьку концентрацію диму для перевірки чутливих сенсорів або високу — для пристроїв із меншою чутливістю.

Така функція дозволяє не лише тестувати різні типи димових сповіщувачів, але й оцінювати їхню поведінку у нестандартних ситуаціях, що може бути важливим у промислових та комерційних умовах. Для порівняння, аналогічні системи, такі як КТП-1, мають обмежену можливість регулювання генерації диму, що значно звужує їхню сферу застосування.

7. Можливість збереження та аналізу даних. Ще однією важливою інновацією розробленої системи є функція збереження даних про кожне тестування. Мікроконтролер ESP32-C3 дозволяє записувати ключові параметри, такі як рівень концентрації диму, час реакції сповіщувача та кількість хибних спрацювань. Ці дані можуть бути передані у вигляді логів до комп'ютера або мобільного додатка для подальшого аналізу.

Ця функція особливо корисна для великих об'єктів із численними сповіщувачами, де потрібен централізований облік результатів тестування. У

КТП-1 такої можливості немає, тому всі дані доводиться реєструвати вручну, що збільшує ризик помилок і потребує додаткового часу.

8. Мінімізація хибних тривог під час тестування. Експерименти показали, що розроблена система значно знижує ймовірність хибних тривог, які можуть виникати під час тестування. Завдяки ізольованій камері та можливості точного налаштування концентрації диму, виключається випадкове потрапляння диму в навколишнє середовище. Це особливо важливо для об'єктів із декількома сповіщувачами, оскільки хибні тривоги можуть створювати додаткові проблеми, такі як активація сигналізації або систем пожежогасіння.

КТП-1, на відміну від розробленої системи, має вищий рівень неконтрольованого виходу диму, що збільшує ризик спрацювання інших сповіщувачів у зоні тестування.

9. Інтеграція з іншими системами безпеки. Розроблена система здатна інтегруватися з існуючими системами безпеки об'єкта завдяки підтримці бездротового зв'язку та протоколів передачі даних. Наприклад, система може надсилати сигнали до центрального пульта управління, інформуючи про результати тестування в реальному часі. Це дозволяє операторам одночасно контролювати тестування кількох пристроїв у великих будівлях або на виробничих майданчиках.

Крім того, система може працювати в парі з інтелектуальними платформами для управління пожежною безпекою, забезпечуючи автоматизований аналіз результатів тестування. У порівнянні, КТП-1 не підтримує таку інтеграцію, що значно обмежує його можливості в масштабних інсталяціях.

10. Стійкість до несприятливих умов експлуатації. Розроблена система була протестована в різних умовах навколишнього середовища, включаючи високу вологість, пил та перепади температур. Завдяки захисту корпусу та використанню високоякісних компонентів, система забезпечує стабільну роботу навіть у складних умовах. Це робить її придатною для використання на промислових об'єктах, де такі фактори є нормою.

У той же час, КТП-1 має обмеження у використанні при високій вологості та температурних перепадах, що може впливати на якість тестування та термін служби пристрою.

11. Широкий спектр застосування. Розроблена система може використовуватись у різних сферах:

1) Житлові приміщення: для перевірки автономних сповіщувачів у квартирах чи будинках.

2) Комерційні об'єкти: тестування систем пожежної сигналізації у торгових центрах, офісах чи готелях.

3) Промислові об'єкти: перевірка димових сповіщувачів на заводах чи складах, де потрібні спеціалізовані умови.

4) Авіація та транспорт: оцінка роботи систем пожежної безпеки у літаках, поїздах чи кораблях, де важлива висока мобільність обладнання.

Таке універсальне використання дає змогу однією системою вирішувати задачі в різних середовищах, що значно спрощує її впровадження.

3.5 Висновки до розділу

У ході експериментального дослідження радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів було підтверджено її ефективність у різних умовах. Результати досліджень показали, що система забезпечує стабільне створення контрольованого димового середовища, необхідного для перевірки чутливості та швидкості реакції димових сповіщувачів.

Проведені випробування продемонстрували високу точність у відтворенні параметрів, таких як обсяги генерованого диму та його концентрація. Це дозволяє забезпечити достовірність результатів і підвищити ефективність тестування пристроїв.

Енергоефективність дослідного зразка повністю відповідає встановленим вимогам, що робить його придатним для тривалої експлуатації в автономному режимі. Крім того, аналіз отриманих результатів виявив відповідність роботи

системи сучасним стандартам, що регламентують процес тестування пожежного обладнання.

Таким чином, розроблена радіотехнічна система є надійним інструментом для перевірки працездатності димових сповіщувачів та може бути використана для підвищення рівня протипожежної безпеки.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Науково-технічна розробка має право на існування та впровадження, якщо вона відповідає вимогам часу, як в напрямку науково-технічного прогресу та і в плані економіки. Тому для науково-дослідної роботи необхідно оцінювати економічну ефективність результатів виконаної роботи.

4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки

Метою проведення комерційного і технологічного аудиту дослідження за темою «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів» є оцінювання науково-технічного рівня та рівня комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково-технічної діяльності.

Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням 5-ти бальної системи оцінювання за 12-ма критеріями [34].

Таблиця 4.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

Критерії	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
	Бали:		
1. Технічна здійсненність концепції	4	5	4
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	3	4	3
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	3	2	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	3	4
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	2	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	3	3	3
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	2	2	2
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	3	4	4

Продовження таблиці 4.1 – Результати оцінювання науково-технічного рівня і комерційного потенціалу розробки експертами

11. Практична здійсненність (термін реалізації)	2	2	2
12. Практична здійсненність (розробка документів)	3	3	3
Сума балів	36	37	37
Середньоарифметична сума балів CB_c	36,7		

За результатами розрахунків, наведених в таблиці 4.1, зробимо висновок щодо науково-технічного рівня і рівня комерційного потенціалу розробки. При цьому використаємо рекомендації, наведені в [34].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів» становить 36,7 бала, що, відповідно до [34], свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення розрахуємо за формулою 4.1 [35].

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i, \quad (4.1)$$

де k – кількість найбільш важливих технічних показників, які впливають на якість нового технічного рішення;

α_i – коефіцієнт, який враховує питому вагу i -го технічного показника в загальній якості розробки. Коефіцієнт α_i визначається експертним шляхом і при цьому має виконуватись умова $\sum_{i=1}^k \alpha_i = 1$;

β_i – відносне значення i -го технічного показника якості нової розробки.

Результати порівняння зведемо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Порівняння основних параметрів розробки та аналога

Показники (параметри)	Одиниця вимірю- вання	Аналог	Проектований продукт	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Генерація диму	мл/хв	5–10	5–15	1,5	0,3
Час реакції	с	30	<3	10	0,15
Енергоефективність	Вт	10	5	2	0,2
Живлення	В	12	5	2,1	0,1
Точність тестування	%	80	>90	1,2	0,25

Узагальнений коефіцієнт якості (B_n) для нового технічного рішення складе:

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,5 \cdot 0,3 + 10 \cdot 0,15 + 2 \cdot 0,2 + 2,1 \cdot 0,1 + 1,2 \cdot 0,25 = 2,86.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,86 рази.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.3.1 Витрати на оплату праці

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників ($З_о$) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою 4.2 [34].

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

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

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

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

$$Z_o = 17420,00 \cdot 11 / 22 = 8500,03 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, (грн.)	Оплата за робочий день, (грн.)	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, (грн.)
Керівник проекту з розробки радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів	17420,00	772,73	11	8500,03
Інженер-розробник радіоелектронної апаратури	16400,00	750,00	22	16500,00
Інженер-системотехнік	16400,00	681,82	11	7500,02
Технік 1-ї категорії	8150,00	370,45	5	1852,27
Всього				34352,32

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів» розраховуємо за формулою 4.3.

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

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

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

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою 4.4.

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір мінімальної місячної заробітної плати, прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення [34];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

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

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (22 \cdot 8) = 57,50 \text{ (грн.)}$$

$$З_{р1} = 57,50 \cdot 12,00 = 690,00 \text{ (грн.)}$$

Таблиця 4.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, (грн.)	Величина оплати на робітника (грн.)
Встановлення допоміжного обладнання робочих місць інженерів-розробників	12,00	2	1,10	57,50	690,00
Встановлення цифрових обчислювальних систем забезпечення процесу моделювання	6,20	4	1,50	78,41	486,14

Продовження таблиці 4.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Інсталяція програмного забезпечення розробки електронних схем та систем управління	5,60	3	1,35	70,57	395,18
Монтаж спеціального обладнання та устаткування	7,00	3	1,35	70,57	493,98
Підготовка експериментальної моделі	8,00	5	1,70	88,86	710,91
Формування бази даних результатів експериментів	12,00	3	1,35	70,57	846,82
Тестування системи	11,00	2	1,10	57,50	632,50
Всього					4255,52

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою 4.5.

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доп}} = (34352,32 + 4255,52) \cdot 11 / 100\% = 4246,86 \text{ (грн.)}.$$

4.3.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою 4.6.

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Зн = (34352,32 + 4255,52 + 4246,86) \cdot 22 / 100\% = 9428,04 \text{ (грн.)}.$$

4.3.3 Сировина та матеріали

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою 4.7.

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot Ц_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot Ц_{ej}, \quad (4.7)$$

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

n – кількість видів матеріалів;

$Ц_j$ – вартість матеріалу j -го найменування, (грн/кг.);

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

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$Ц_{ej}$ – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 1,0 \cdot 160,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 176,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, (грн.)	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, (грн/кг.)	Вартість витраченого матеріалу, (грн.)
USB-пам'ять DATA (32 ГБ) Class 10	160,00	1,0	0	0	176,00
USB-пам'ять DATA Cross (64 ГБ) Class 10 A	209,00	2,0	0	0	459,80

Продовження таблиці 4.5 – Витрати на матеріали

Диск оптичний Verbatim-10 (CD-R)	26,00	5,0	0	0	143,00
Диск оптичний LG-W (CD-RW)	32,50	5,0	0	0	178,75
Картридж для принтера Canon 750AF-DX	2059,00	2,0	0	0	4529,80
Начиння канцелярське Ultra	199,00	4,0	0	0	875,60
Органайзер офісний Ultra	215,00	3,0	0	0	709,50
Папір для заміток (A5)-500/70	96,50	3,000	0	0	318,45
Папір канцелярський офісний (A4-500/80)	210,00	3,0	0	0	693,00
Кабель КГ 1х25 т 3ЗКМ (703325)	149,30	2,500	0	0	410,58
Провід ПВС 2х0,5 Прикарпат-кабель	10,00	10,000	0	0	110,00
Шина мідна 5х40 РСВ 639А 2м (550630)	380,00	0,40	0	0	167,20
Всього					8771,68

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою 4.8.

$$K_e = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

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

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

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

$$K_6 = 1 \cdot 725,00 \cdot 1,1 = 797,50 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн.)	Сума, (грн.)
ESP32-C3 – мікроконтролер для керування всіма підсистемами пристрою	1	725,00	797,50
Тип-С порт – для живлення пристрою та зарядки акумулятора	1	32,00	35,20
TP4056 – мікросхема для керування зарядом акумулятора	1	164,00	180,40
EVE INR21700-40P – літій-іонний акумулятор для автономної роботи	1	320,00	352,00
IRF520 – транзистори для керування подачею струму до компонентів	6	15,00	99,00
Vaporesso ECO NANO 0.8 Ом 6 мл – спеціальний картридж для генерації диму	1	68,00	74,80
PM201U – помпа для подачі повітря через картридж	1	125,00	137,50
WS2812B-5050 – RGB-світлодіоди для індикації стану пристрою	6	9,20	60,72
LE-PE14P40A-75 – п'єзоелектричний генератор для звукової індикації	1	42,00	46,20
VL53L0X – лазерний датчик для визначення відстані або наявності об'єкта	1	370,00	407,00

Продовження таблиці 4.6 – Витрати на комплектуючі

ОА-W01 2.4G 5G 5.8G – модуль бездротового зв'язку для моніторингу пристрою	1	800,00	880,00
SMD0402-10kOm – дільник напруги для вимірювання рівня заряду акумулятора	1	56,00	61,60
OSXX0603C1E (SMD0603) – світлодіоди для індикації рівня заряду	3	5,80	19,14
KLS7-TS6611-1.5-250 – тактові кнопки для керування пристроєм	4	9,20	40,48
Всього			3191,54

4.3.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою 4.9.

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

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

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

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

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 2799,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 3078,90 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Генератор диму для лабораторних випробувань.	1	2799,00	3078,90

Продовження таблиці 4.7 – Витрати на придбання спеціалізованого обладнання по кожному виду

Лабораторний мультиметр для вимірювання електричних параметрів	1	6200,00	6820,00
Всього			9898,90

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт
Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою 4.10.

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inpr} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де C_{inpr} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);
 $C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;
 K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);
 k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 7890,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 8284,50 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Altium Designer – для проектування електричних схем та друкованих плат	1	7890,00	8284,50
Solid Works – моделювання корпусу пристрою	1	6580,00	6909,00
Visual Studio Code – для написання кода пристрою	1	5480,00	5754,00
Всього			20947,50

4.3.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою 4.11.

$$A_{обл} = \frac{Ц_{\bar{o}}}{T_{\bar{o}}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_{\bar{o}}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

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

$T_{\bar{o}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (42999,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1791,63 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн.)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн.)
Електронний комплекс аналітичної системи	42999,00	2	1	1791,63
Персональний комп'ютер	21350,00	2	1	889,58
Спеціалізоване робоче місце розробника радіотехнічної системи	9120,00	5	1	152,00

Продовження таблиці 4.9 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Пристрій виводу текстової інформації	6999,00	4	1	145,81
Оргтехніка	8540,00	5	1	142,33
Приміщення лабораторії досліджень	389500,00	35	1	927,38
ОС Windows 11	5980,00	2	1	249,17
Прикладний пакет Microsoft Office 2019	5490,00	2	1	228,75
Всього				4526,65

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою 4.12.

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{внi}}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

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

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

$K_{\text{внi}}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{\text{внi}} < 1$;

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

$$B_e = 0,32 \cdot 160,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 562,18 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн.)
Електронний комплекс аналітичної системи	0,32	160,0	562,18
Персональний комп'ютер	0,20	160,0	351,36
Спеціалізоване робоче місце розробника РЕА	0,90	160,0	1581,12
Пристрій виводу текстової інформації	0,16	2,0	3,51
Оргтехніка	0,45	1,4	6,92
Всього			2505,09

4.3.9 Службові відрядження

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

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

Витрати за даною статтею відсутні.

4.3.11 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою 4.13.

$$I_{\text{с}} = (Z_{\text{о}} + Z_{\text{р}}) \cdot \frac{H_{\text{іс}}}{100\%}, \quad (4.13)$$

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

$$I_{\text{с}} = (34352,32 + 4255,52) \cdot 50 / 100\% = 19303,92 \text{ (грн.)}$$

4.3.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою 4.14.

$$B_{нзв} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.14)$$

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

$$B_{нзв} = (34352,32 + 4255,52) \cdot 100 / 100\% = 38607,85 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою 4.15.

$$B_{заг} = 3_o + 3_p + 3_{доо} + 3_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} B_{заг} &= 34352,32 + 4255,52 + 4246,86 + 9428,04 + 8771,68 + 3191,54 + 9898,90 + \\ &20947,50 + 4526,65 + 2505,09 + 0,00 + 0,00 + 19303,92 + 38607,85 = \\ &= 160035,87 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою 4.16.

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.16)$$

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

$$ЗВ = 160035,87 / 0,95 = 168458,81 \text{ (грн.)}.$$

4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором

Результати дослідження проведені за темою «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

Розробка чи суттєве вдосконалення машини (механізму, приладу, пристрою) для використання кінцевими споживачами.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

ΔN – збільшення кількості споживачів пристрою, у періоди часу, що аналізуються, від покращення його певних характеристик;

Показник	1-й рік	2-й рік	3-й рік	4-й рік
Збільшення кількості споживачів, осіб	700	700	800	600

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 8200 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 6500,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 90,00 (грн.).

Можливе збільшення чистого прибутку у потенційного інвестора $\Delta \Pi_i$ для кожного із 4-х років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, розраховуємо за формулою 4.17 [34].

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (4.17)$$

де λ – коефіцієнт, який враховує сплату потенційним інвестором податку на додану вартість. У 2024 році ставка податку на додану вартість складає 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$;

ρ – коефіцієнт, який враховує рентабельність інноваційного продукту).
Прийmemo $\rho = 40\%$;

ϑ – ставка податку на прибуток, який має сплачувати потенційний інвестор, у 2024 році $\vartheta = 18\%$;

Збільшення чистого прибутку 1-го року:

$$\Delta\Pi_1 = (90,00 \cdot 8200,00 + 6590,00 \cdot 700) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1456756,24 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (90,00 \cdot 8200,00 + 6590,00 \cdot 1400) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2712599,36 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (90,00 \cdot 8200,00 + 6590,00 \cdot 2200) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 4147848,64 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (90,00 \cdot 8200,00 + 6590,00 \cdot 2800) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 5224285,60 \text{ (грн.)}.$$

Приведена вартість збільшення всіх чистих прибутків $\Pi\Pi$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.18.

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.18)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному з років, протягом яких виявляються результати впровадження науково-технічної розробки, (грн.);

T – період часу, протягом якого очікується отримання позитивних результатів від впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,12$;

t – період часу (в роках) від моменту початку впровадження науково-технічної розробки до моменту отримання потенційним інвестором додаткових чистих прибутків у цьому році.

$$\begin{aligned} III &= 1456756,24/(1+0,12)^1 + 2712599,36/(1+0,12)^2 + 4147848,64/(1+0,12)^3 + \\ &+ 5224285,60/(1+0,12)^4 = 1300675,21 + 2162467,60 + 2952356,73 + 3320127,95 = \\ &= 9735627,49 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.19.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.19)$$

де $k_{инв}$ – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, приймаємо $k_{инв} = 2$;

$3B$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, приймаємо 168458,81 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 168458,81 = 336917,61 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме розраховується за формулою 4.20.

$$E_{абс} = III - PV \quad (4.20)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 9735627,49 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 336917,61 (грн.).

$$E_{abc} = III - PV = 9735627,49 - 336917,61 = 9398709,88 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.21.

$$E_g = T_{жс} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}]{} - 1, \quad (4.21)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 9398709,88 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 336917,61 (грн.);

$T_{жс}$ – життєвий цикл науково-технічної розробки, тобто час від початку її розробки до закінчення отримування позитивних результатів від її впровадження, 4 роки.

$$E_g = T_{жс} \sqrt[1 + \frac{E_{abc}}{PV}]{} - 1 = (1 + 9398709,88/336917,61)^{1/4} - 1 = 1,32.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min} розраховується за формулою 4.22.

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.22)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,11$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,4.

$\tau_{min} = 0,11 + 0,4 = 0,51 < 1,32$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_g , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто

інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.23.

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (4.23)$$

де E_{ϵ} – внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій.

$$T_{ок} = 1 / 1,32 = 0,76 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

4.5 Висновки до розділу

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів» становить 36,7 бала, що, свідчить про комерційну важливість проведення даних досліджень (рівень комерційного потенціалу розробки вище середнього).

При оцінюванні за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,86 рази.

Також термін окупності становить 0,76 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість науково-технічної розробки і може спонукати потенційного інвестора профінансувати впровадження даної розробки та виведення її на ринок.

Отже можна зробити висновок про доцільність проведення науково-дослідної роботи за темою «Радіотехнічна система тестування димових сповіщувачів».

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі було розглянуто сучасний стан тестування димових сповіщувачів, а також запропоновано новий підхід до вдосконалення цього процесу. Основна увага була приділена дослідженню та розробці прототипу радіотехнічної системи, що забезпечує автоматизоване тестування димових сповіщувачів.

Аналіз сучасних методів тестування димових сповіщувачів показав, що для забезпечення надійної роботи цих пристроїв важливо використовувати точні й ефективні методики перевірки. Були детально розглянуті різні методи, такі як генерація контрольованого середовища, використання аерозольних симуляторів, а також лабораторні й польові випробування.

У процесі розробки дослідного зразка було проведено аналіз аналогічних пристроїв, визначено їхні переваги й недоліки, що дозволило врахувати найкращі практики при розробці власної системи. Розроблений пристрій характеризується підвищеною точністю, гнучкістю у використанні, а також можливістю економного використання ресурсів.

Результати досліджень і експериментів підтвердили ефективність розробленого пристрою для тестування димових сповіщувачів, що дозволяє значно підвищити безпеку та надійність систем протипожежного захисту.

В четвертому розділі проведено розрахунок комерційного потенціалу розробки, згідно з яким було встановлено, що науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,86 рази. Також термін окупності становить 0,76 р., що менше 3-х років, що свідчить про комерційну привабливість. Таким чином, запропоновані в роботі рішення мають високий потенціал для подальшого впровадження у виробництво й експлуатацію, що сприятиме підвищенню ефективності систем пожежної сигналізації й загальної безпеки об'єктів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пристрій для орієнтації сліпих у просторі у вигляді бейсболки / Якименко О.А., Присяжний В.М., Ключко В.І., Коломієць А.А. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1722923/>
2. T. Kawamura, Y. Hoshino, and K. Yamamoto, "Technologies in Smoke Detection: A Comprehensive Overview," Journal of Fire Safety Engineering, vol. 14, no. 3, pp. 102-118, 2023.
3. L. Roberts and G. Brown, "Optical and Ionization Smoke Detectors: Performance Comparison," Fire Technology Journal, vol. 25, no. 4, pp. 45-60, 2022.
4. S. Patel and R. Singh, "Emerging Standards in Smoke Detection Systems," IEEE Transactions on Safety Systems, vol. 19, no. 6, pp. 345-360, 2022.
5. M. Brown and K. Lopez, "Smoke Testing in Fire Safety: Laboratory and Field Methods," Springer Series in Fire Research, vol. 33, pp. 78-92, 2023.
6. Y. Zhang and L. Harris, "Comparative Evaluation of Smoke Generator Techniques," Fire Science Reviews, vol. 29, no. 2, pp. 67-80, 2022.
7. J. Patel, R. Taylor, and H. Singh, "New Approaches to Automated Smoke Testing," Advances in Fire Safety Engineering, vol. 18, no. 7, pp. 112-126, 2023.
8. R. Wilson, L. Davies, and H. Brown, "Market Overview of Smoke Testing Systems," Fire and Safety Research Journal, vol. 22, no. 3, pp. 56-72, 2023.
9. P. Walker and K. Lee, "Evaluation of Cost-Effective Smoke Testing Devices," International Fire Safety Journal, vol. 15, no. 5, pp. 102-116, 2022.
10. T. Davis, J. Green, and M. Taylor, "Technological Advancements in Smoke Testing Devices," IEEE Sensors Journal, vol. 21, no. 9, pp. 89-105, 2023.
11. Генератор диму КТП-1– [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://elfor.ck.ua/komplekty-testovyyh-priborov-ktp-1/>
12. Генератор диму TESTIFIRE– [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://detectortesters.com/testifire-xtr2-001>
13. Аерозольний розпилювач Solo – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.solo-tester.com/>

14. Y. Zhang and R. Wilson, "Principles of Structural Design for Smoke Testing Systems," *IEEE System Design Journal*, vol. 19, no. 4, pp. 120-134, 2022.
15. S. Patel and K. Lopez, "Architectural Approaches in Fire Safety Devices," *Advances in System Engineering*, vol. 12, no. 7, pp. 89-105, 2023.
16. T. Brown, P. Walker, and G. Harris, "Designing Smart Systems for Smoke Detector Testing," *Fire Technology Reviews*, vol. 33, pp. 56-72, 2023.
17. L. Roberts and H. Kim, "Developing Circuit Schematics for Fire Safety Applications," *IEEE Circuit Design Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 78-92, 2023.
18. J. Patel and R. Taylor, "Electronic Components for Smoke Generator Systems," *MDPI Electronics Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 45-60, 2022.
19. K. Lee and Y. Harris, "Schematic Optimization in IoT-Enabled Smoke Detectors," *Advances in Embedded Systems*, vol. 18, no. 6, pp. 112-128, 2023.
20. P. Wilson and L. Smith, "Design Prototypes for Smoke Testing Devices," *International Journal of Fire Engineering*, vol. 21, no. 5, pp. 134-150, 2023.
21. T. Davis and J. Brown, "3D Modelling in Fire Safety Device Development," *Springer Advances in Design*, vol. 19, no. 7, pp. 78-92, 2022.
22. R. Taylor, G. Harris, and Y. Patel, "Construction Challenges in Smoke Testing Systems," *Fire Safety Engineering Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 56-69, 2022.
23. M. Brown, P. Wilson, and H. Singh, "Experimental Setups for Smoke Detector Testing," *Fire Research Journal*, vol. 13, no. 8, pp. 90-110, 2023.
24. Y. Zhang and J. Lee, "Laboratory Designs for Smoke Detection Systems," *Advances in Experimental Research*, vol. 19, no. 6, pp. 112-128, 2022.
25. R. Taylor and K. Davis, "Setup Guidelines for Controlled Smoke Testing," *IEEE Test Engineering Journal*, vol. 15, no. 9, pp. 78-92, 2023.
26. L. Roberts and G. Harris, "Analyzing Smoke Volume in Testing Devices," *Fire Safety Reviews*, vol. 22, no. 3, pp. 45-60, 2023.
27. P. Walker and H. Kim, "Smoke Generation and Volume Control in Test Systems," *Springer Advances in Fire Research*, vol. 15, no. 7, pp. 89-105, 2022.
28. T. Brown and J. Patel, "Experimental Data on Smoke Emission in Detection Systems," *Journal of Fire Engineering*, vol. 21, no. 6, pp. 102-116, 2023.

29. Y. Harris and K. Taylor, "Energy Efficiency in Smoke Testing Devices," MDPI Energy and Systems Journal, vol. 19, no. 5, pp. 120-135, 2023.
30. L. Smith and T. Davis, "Power Consumption Analysis in Fire Safety Systems," IEEE Power Electronics Journal, vol. 14, no. 2, pp. 78-92, 2022.
31. R. Wilson and G. Brown, "Energy-Saving Solutions for Smoke Detection Systems," Advances in Engineering Efficiency, vol. 18, no. 8, pp. 56-72, 2023.
32. Як правильно перевіряти димові сповіщувачі: посібник для інженерів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://firesafety.com/guide/smoke-detectors>
33. Системи генерації диму для тестування протипожежних сповіщувачів – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://testingtech.org/smoke-generator>
34. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
35. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 113 с.

Додаток А
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ДИМОВИХ
СПОВІЩУВАЧІВ

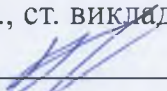
Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 – Електронні комунікації
та радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Присяжний В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., ст. викладач каф. ІРТС

 Притула М.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.



Рисунок 1 – Структурна схема радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів

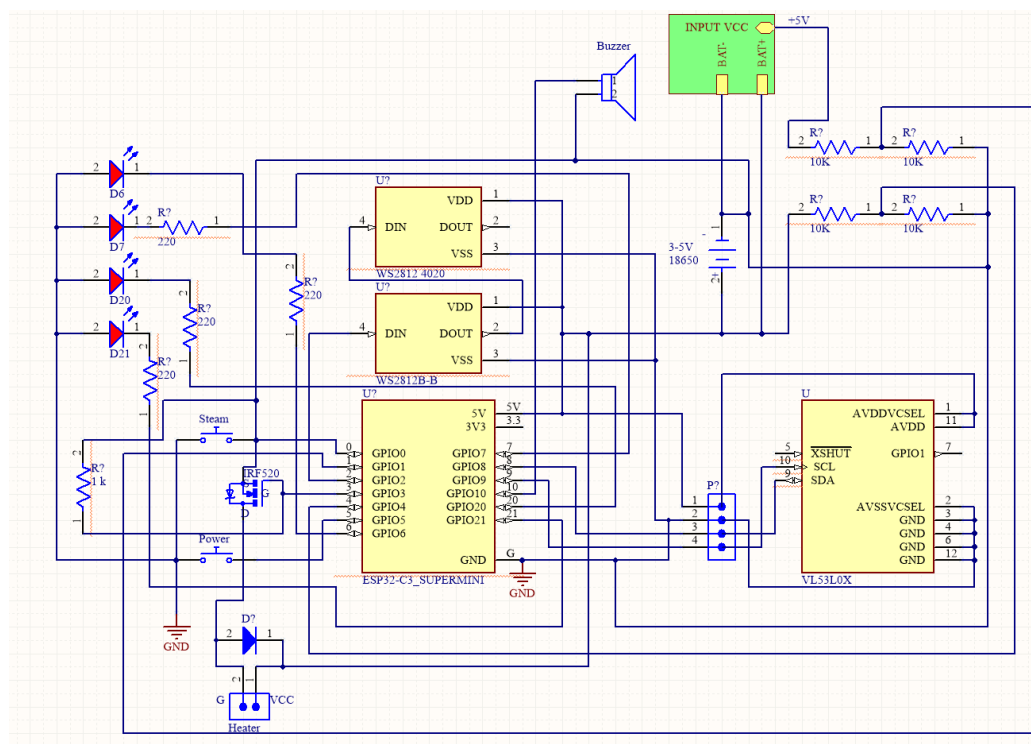


Рисунок 2 – Електрично-принципова схема дослідного генератора диму

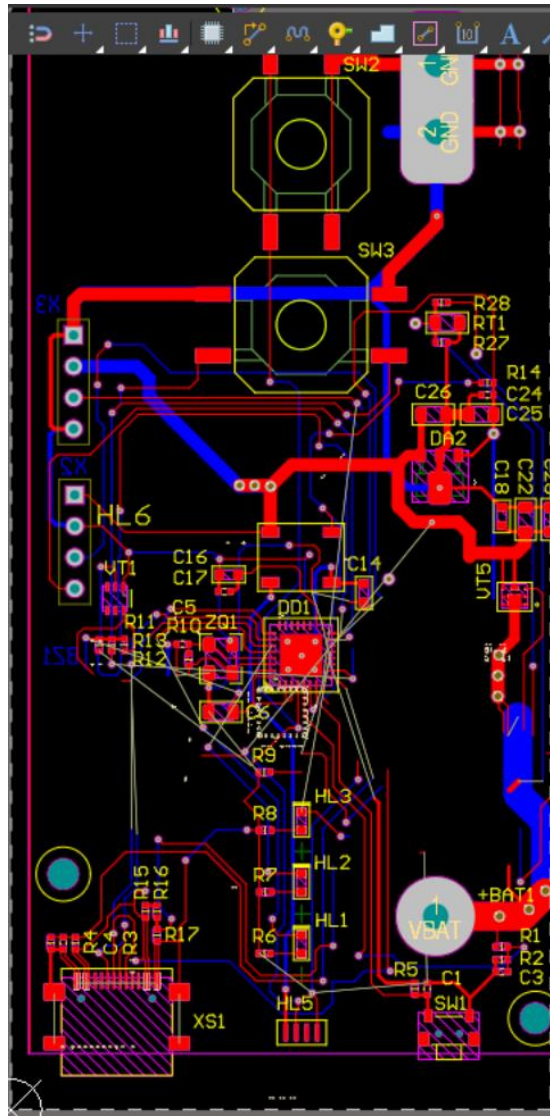


Рисунок 3 – Друкована плата у середовищі Altium Designer

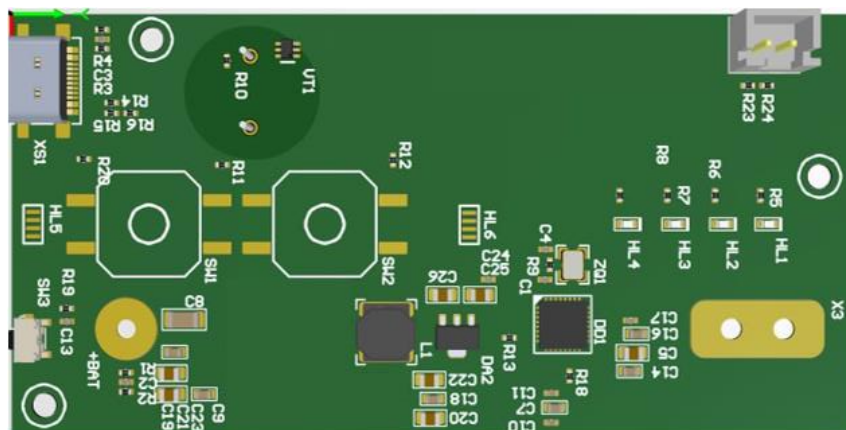


Рисунок 4 – Друкована плата у 3D-вимірі дослідного генератора диму

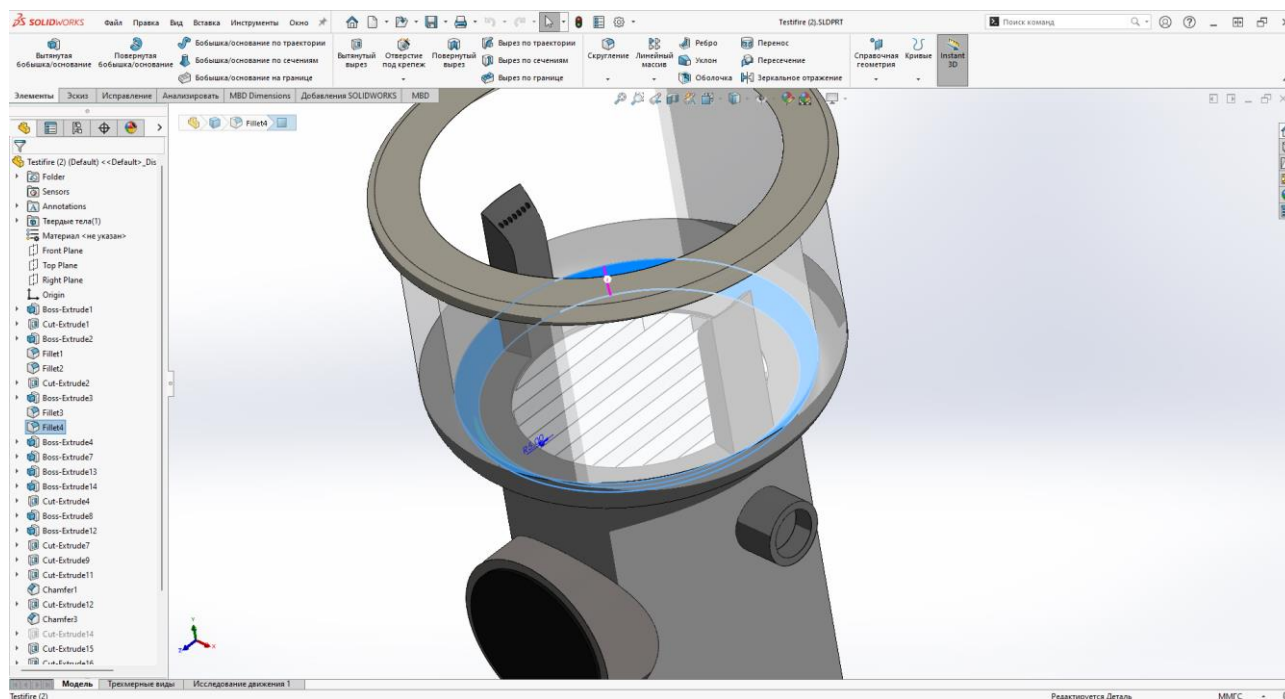


Рисунок 5 – Змодельований корпус у середовищі SolidWorks

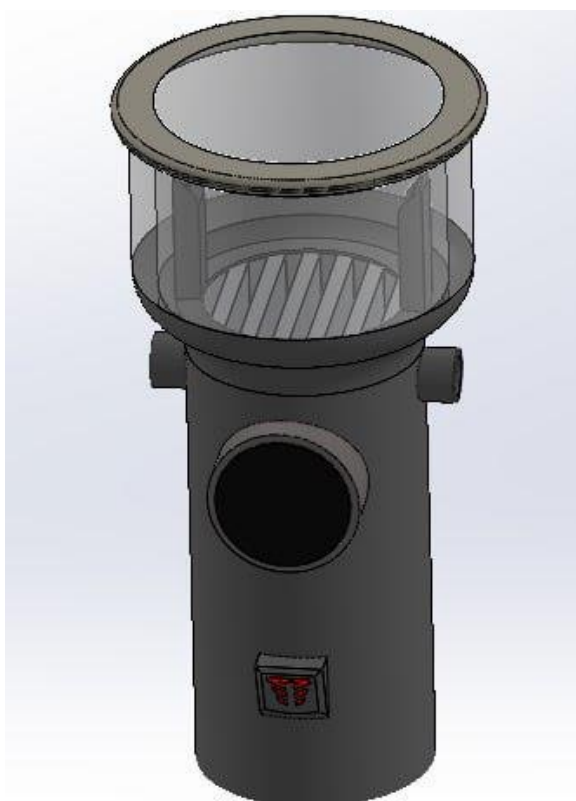


Рисунок 6 – Загальний вигляд корпусу дослідної радіотехнічної системи

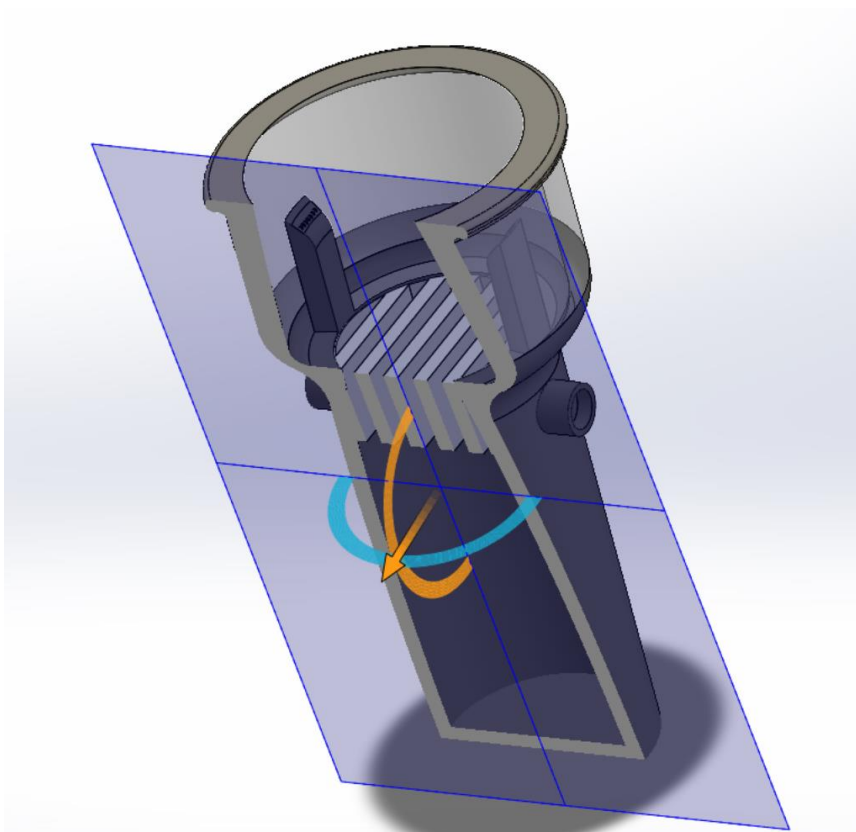


Рисунок 7 – Вигляд корпусу у розрізі



Рисунок 8 – Зображення проведення експерименту з дослідним зразком

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА ТЕСТУВАННЯ ДИМОВИХ
СПОВІЩУВАЧІВ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Радіотехнічна система тестування димових сповіслювачів»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 98.0% Схожість 2.0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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

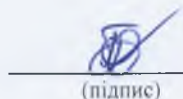
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

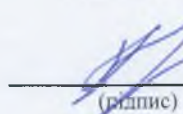
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Владислав ПРИСЯЖНИЙ
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Максим ПРИТУЛА
(прізвище, ініціали)

Додаток В (довідниковий)

Лістинг програми для радіотехнічної системи тестування димових сповіщувачів

```
#include <Arduino.h>
#include <Adafruit_NeoPixel.h>

#define BATTERY_PIN A0           // Пін для вимірювання напруги
акумулятора
#define MOSFET_PIN 5           // MOSFET транзистор для керування димом
#define ARGB_PIN 6             // ARGB світлодіод
#define LED1_PIN 7             // Індикатор заряду 1
#define LED2_PIN 8             // Індикатор заряду 2
#define LED3_PIN 9             // Індикатор заряду 3
#define LED4_PIN 10            // Індикатор заряду 4
#define BUTTON_ON_PIN 2        // Кнопка для вмикання пристрою
#define BUTTON_SMOKE_PIN 3     // Кнопка для подачі диму
#define VL0_PIN A1            // Пін для сенсора відстані

Adafruit_NeoPixel argbLed(1, ARGB_PIN, NEO_GRB + NEO_KHZ800);

bool deviceOn = false;
bool smokeOn = false;
unsigned long lastBatteryCheck = 0;
const unsigned long batteryCheckInterval = 10000; // Інтервал
перевірки заряду в мс

void setup() {
    pinMode(BATTERY_PIN, INPUT);
    pinMode(MOSFET_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED1_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED2_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED3_PIN, OUTPUT);
    pinMode(LED4_PIN, OUTPUT);
    pinMode(BUTTON_ON_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(BUTTON_SMOKE_PIN, INPUT_PULLUP);
    pinMode(VL0_PIN, INPUT);

    argbLed.begin();
    argbLed.setBrightness(50);
    argbLed.show();
}

void loop() {
    // Читання стану кнопок
    if (digitalRead(BUTTON_ON_PIN) == LOW) {
        deviceOn = !deviceOn;
        delay(200); // Захист від "дребезгу" кнопки
    }

    if (deviceOn) {
```

```

    if (digitalRead(BUTTON_SMOKE_PIN) == LOW) {
        smokeOn = true;
    } else {
        smokeOn = false;
    }

    // Обробка диму
    controlSmoke(smokeOn);

    // Читання заряду акумулятора
    if (millis() - lastBatteryCheck >= batteryCheckInterval) {
        checkBatteryLevel();
        lastBatteryCheck = millis();
    }

    // Обробка сенсора відстані
    if (analogRead(VL0_PIN) > 500) {    // Порогове значення для
    визначення присутності
        showARGB(Color(255, 0, 0));    // Червоний, якщо присутній
    } else {
        showARGB(Color(0, 255, 0));    // Зелений, якщо відсутній
    }
    } else {
        turnOff();
    }
}

// Функція для вимірювання та індикації рівня заряду
void checkBatteryLevel() {
    int batteryVoltage = analogRead(BATTERY_PIN);
    float voltage = batteryVoltage * (5.0 / 1023.0) * 2;    // Корекція
    на ділення

    // Індикатор заряду на основі напруги
    if (voltage > 4.0) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED3_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED4_PIN, HIGH);
    } else if (voltage > 3.7) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED3_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    } else if (voltage > 3.5) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    } else if (voltage > 3.3) {
        digitalWrite(LED1_PIN, HIGH);
        digitalWrite(LED2_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
    }
}

```

```

        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    } else {
        digitalWrite(LED1_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED2_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
        digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    }
}

// Функція для управління димом
void controlSmoke(bool state) {
    if (state) {
        digitalWrite(MOSFET_PIN, HIGH);
    } else {
        digitalWrite(MOSFET_PIN, LOW);
    }
}

// Функція для відображення кольору на ARGB світлодіоді
void showARGB(uint32_t color) {
    argbLed.setPixelColor(0, color);
    argbLed.show();
}

// Функція для вимикання пристрою
void turnOff() {
    digitalWrite(MOSFET_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED1_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED2_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED3_PIN, LOW);
    digitalWrite(LED4_PIN, LOW);
    showARGB(Color(0, 0, 0));
}

// Функція для встановлення кольору
uint32_t Color(uint8_t r, uint8_t g, uint8_t b) {
    return argbLed.Color(r, g, b);
}

```