

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 АНАЛІЗУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ
ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ»**

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

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Докучасв О.С.

(прізвище та ініціали)

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

Приюта 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. Осалчук О.В.

«14» вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Докучаєву Олексію Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи. «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні»

керівник роботи к.т.н., ст. викладач кафедри ІРТС Притула М.О.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від 17. 09.2024 р. №310.

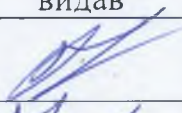
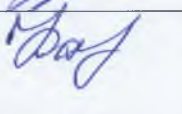
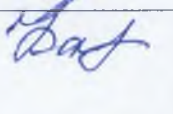
2. Строк подання студентом роботи 13.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: Напруга живлення - 3,3...12В. Струм споживання - 250...450мА. Концентрація газу - 350...5500 ppm. Концентрація важких частинок PM2.5 – 0...600 $\mu\text{г}/\text{м}^3$. Діапазон температур: -10...+60 $^{\circ}\text{C}$.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз систем контролю якості повітря. Розробка структурної схеми радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні. Розробка радіотехнічної системи. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Загальний принцип роботи радіотехнічної системи. Загальна структурна схема радіотехнічної системи. Детальна структурна схема радіотехнічної системи. Схема підключень пристроїв за допомогою MQTT-Broker. Схема електрично-принципова радіотехнічної системи. Корпус радіотехнічної системи спереду в середовищі SolidWorks. Корпус радіотехнічної системи ззаду в середовищі SolidWorks. Корпус в програмі для слайсингу моделі для 3Д принтера.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	ст. викладач каф. ІРТС, к.т.н., 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

(підпис)

Докучаєв О.С.

Керівник роботи

(підпис)

Притула М.О.

АНОТАЦІЯ

УДК 621.396.6

Докучаєв О.С. Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма - Радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 105 с. На українській мові. Бібліогр.: 37 назв; Табл. 11; Рис. 20.

У магістерській кваліфікаційній роботі здійснено розроблення радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні. Розглянуто основні показники повітря, існуючих радіотехнічних систем аналізу та забезпечення якості повітря та їх особливості. Проаналізовано недоліки існуючих систем для подальшого розроблення покращеної радіотехнічної системи. Розроблені структурна та електрично-принципова схеми радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні. Проведена розробка програмного коду та корпусу для радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні. Проведено порівняння розробленої системи з аналогом.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: мікроконтролер, ESP, повітря, програмний код, інформація, радіотехнічна система.

ABSTRACT

Dokuchayev O.S. Radio engineering system for analyzing and ensuring indoor air quality. Master's qualification work in the specialty 172 - Electronic communications and radio engineering, educational program - Radio Engineering: VNTU, 2024. 105 p. In Ukrainian. Bibliogr.: 37 titles; Table 11; Fig. 20.

In the master's qualification work, the development of a radio engineering system for analyzing and ensuring indoor air quality was carried out. The main indicators of air, existing radio engineering systems for analyzing and ensuring air quality and their features are considered. The shortcomings of existing systems are analyzed for the further development of an improved radio engineering system. The structural and electrical schematic diagrams of the radio engineering system for analyzing and ensuring indoor air quality were developed. The program code for the radio engineering system for analyzing and ensuring indoor air quality was developed. The developed system was compared with an analog.

Also in the master's qualification work, the economic part was calculated.

Keywords: microcontroller, ESP, air, program code, information, radio engineering system.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ.....	13
1.1 Аналіз основних показників повітря в приміщенні.....	13
1.2 Аналіз існуючих радіотехнічних систем контролю якості повітря	17
1.3 Аналіз переваг та недоліків оглянутих систем	24
1.4 Висновки до розділу	26
2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ	28
2.1 Аналіз та вибір мікроконтролера для реалізації радіотехнічної системи	28
2.2 Розробка загальної структурної схеми.....	36
2.3 Вибір компонентної бази.....	38
2.4 Розробка детальної структурної схеми	42
2.5 Висновки до розділу	43
3 РОЗРОБКА РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ.....	44
3.1 Розробка електрично-принципової схеми	44
3.2 Конструкторське проектування радіотехнічної системи	51
3.3 Порівняння розробленої радіотехнічної системи з аналогом.....	65
3.4 Висновки до розділу	67
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	69
4.1 Проведення комерційного та технологічного аудиту науково-технічної розробки	69
4.2 Розрахунок узагальненого коефіцієнта якості розробки	70
4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи.....	71
4.4 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки при її можливій комерціалізації потенційним інвестором	84
4.5 Висновки до розділу	88
ВИСНОВКИ	90

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	95
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки навчальної (магістерської) кваліфікаційної роботи	101
Додаток В (довідниковий). Лістинг програми	103

ВСТУП

Актуальність

Забезпечення належної якості повітря в приміщеннях є надзвичайно важливою проблемою сучасного суспільства, що пов'язано зі стрімким розвитком урбанізації, промислового виробництва, а також зростанням часу, який люди проводять у закритих просторах. Сьогодні люди в середньому проводять до 90% свого часу в приміщеннях — вдома, на роботі чи в транспорті, тому якість внутрішнього повітря безпосередньо впливає на здоров'я та добробут.

Погана якість повітря в приміщеннях може стати причиною різноманітних захворювань: від алергічних реакцій і захворювань дихальної системи до хронічних захворювань серцево-судинної системи. Зокрема, рівень забруднення внутрішнього повітря може бути в кілька разів вищим, ніж зовнішнього, через використання будівельних матеріалів, меблів, техніки та побутової хімії[1].

Зміни клімату та глобальне потепління також додають важливості темі контролю якості повітря. У періоди екстремальних погодних умов (наприклад, спекотних хвиль або сильних морозів), люди ще більше залежать від внутрішнього середовища, що вимагає ефективних систем моніторингу й очищення повітря.

Також пандемія COVID-19 висвітлила роль вентиляції та очищення повітря в запобіганні поширенню вірусів у закритих приміщеннях. Це призвело до зростання інтересу до нових технологій контролю якості повітря, таких як автоматизовані системи моніторингу, датчики забруднень, фільтри, а також методи вентиляції.

Системи аналізу та забезпечення якості повітря допомагають своєчасно виявляти небезпечні концентрації забруднень і підтримувати оптимальний мікроклімат, що важливо для здоров'я мешканців, підвищення продуктивності на робочих місцях, а також для зниження енергоспоживання завдяки оптимізації роботи вентиляційних та опалювальних систем.

Таким чином, впровадження таких систем є актуальним і необхідним кроком для забезпечення здорового середовища як у приватних, так і в громадських будівлях.

Мета роботи

Метою роботи є дослідження та розробка системи аналізу й забезпечення якості повітря в приміщеннях, яка дозволить в режимі реального часу моніторити основні показники забруднення повітря, такі як рівень вуглекислого газу (CO₂), рівень вологості та температури, а також виявляти присутність небезпечних частинок (PM_{2.5}, PM₁₀). Основна задача полягає в оптимізації умов для створення безпечного та комфортного мікроклімату для людей, запобігання негативним наслідкам для здоров'я та підвищення енергоефективності будівель.

Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є якість повітря в закритих приміщеннях, зокрема параметри, що впливають на рівень забруднення повітря (концентрація CO₂, дрібнодисперсних часток PM_{2.5}, PM₁₀, рівень вологості та температури), а також системи моніторингу та аналізу цих параметрів.

Це включає:

- 1) Внутрішнє середовище приміщень різного призначення (житлові будинки, офіси, громадські будівлі).
- 2) Забруднюючі речовини, що присутні в повітрі приміщень, їх джерела та вплив на здоров'я людей.
- 3) Технічні засоби (датчики, контролери, програмні рішення) для аналізу та контролю якості повітря.
- 4) Взаємодія систем аналізу повітря з іншими інженерними системами будівель, зокрема вентиляційними та опалювальними системами.

Об'єкт дослідження охоплює комплексний підхід до вивчення факторів, які впливають на якість повітря в приміщеннях, і шляхів оптимізації умов для створення здорового мікроклімату.

Предметом дослідження

Предметом дослідження є методи та технології аналізу і забезпечення якості повітря в приміщеннях, зокрема:

1) Технічні засоби моніторингу якості повітря: датчики для вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO₂), дрібнодисперсних часток (PM2.5, PM10), а також датчики температури та вологості.

2) Алгоритми та моделі для обробки даних з цих датчиків з метою оцінки якості повітря в режимі реального часу.

3) Інтеграційні рішення для поєднання систем моніторингу якості повітря з автоматизованими системами «Розумний будинок», для адаптивного керування вентиляцією, кондиціонуванням та іншими інженерними системами.

Предмет дослідження зосереджується на дослідженні процесів вимірювання, аналізу та управління якістю повітря, а також на ефективності впровадження цих технологій для створення безпечного та комфортного середовища в приміщеннях.

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 досліджень

У дослідженні системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщеннях використовуються такі методи:

1) Аналіз літератури та наукових джерел – вивчення сучасних досліджень і технологій у сфері моніторингу якості повітря, вентиляційних систем, очищення повітря та їх впливу на здоров'я людей.

2) Методи обробки даних – аналіз даних, отриманих з сенсорів, за допомогою сучасних програмних засобів для обробки великих масивів даних (Big Data), виявлення тенденцій та аномалій у показниках якості повітря.

3) Інтеграційне тестування – вивчення можливостей інтеграції систем моніторингу якості повітря з іншими інженерними системами будівлі, такими як системи вентиляції, кондиціонування, фільтрації повітря, з метою їх автоматичного регулювання для забезпечення оптимальних умов у приміщенні.

4) Порівняльний аналіз – оцінка ефективності різних систем контролю та очищення повітря, а також аналіз впливу використання таких систем на здоров'я людей, комфорт і продуктивність.

5) Економічний аналіз – оцінка витрат на впровадження систем моніторингу якості повітря та енергозберігаючих технологій, а також їх рентабельності з точки зору зниження енергоспоживання та підвищення ефективності роботи вентиляційних систем.

Наукова новизна отриманих результатів

Наукова новизна отриманих результатів:

1) Розробка інтегрованої системи моніторингу якості повітря в приміщеннях, яка поєднує аналіз кількох ключових параметрів (рівень CO₂, леткі органічні сполуки, дрібнодисперсні частки PM_{2.5}, PM₁₀, вологість, температура) і забезпечує їх автоматичне регулювання через інтеграцію з інженерними системами будівлі. Це забезпечує комплексний підхід до управління мікрокліматом.

2) Впровадження алгоритмів для обробки даних з датчиків у режимі реального часу, що забезпечують точне виявлення аномалій та критичних перевищень допустимих рівнів забруднення. Це дозволяє швидко реагувати на зміни якості повітря та автоматично налаштовувати роботу вентиляційних та очищувальних систем.

3) Новий підхід до інтеграції систем якості повітря з системами «Розумний будинок», що дозволяє автоматизувати процеси регулювання мікроклімату з урахуванням якості повітря, підвищуючи енергоефективність будівель та зменшуючи витрати на їх експлуатацію.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення одержаних результатів полягає у впровадженні системи моніторингу та забезпечення якості повітря, яка може бути використана в житлових, офісних та громадських приміщеннях для підтримання здорового мікроклімату. Це рішення дозволяє підвищити комфорт та безпеку перебування людей у приміщеннях, що особливо важливо в умовах урбанізації та зростаючого часу, який люди проводять у закритих просторах.

Система дозволяє своєчасно виявляти перевищення допустимих рівнів забруднюючих речовин, таких як вуглекислий газ, дрібнодисперсні частки та леткі органічні сполуки, що сприяє попередженню респіраторних та інших захворювань, пов'язаних з поганою якістю повітря. Її використання в офісах та навчальних закладах може підвищити продуктивність і покращити загальне самопочуття людей.

Інтеграція системи з автоматизованими системами «Розумний будинок» дозволяє знизити енергоспоживання, оптимізуючи роботу вентиляційних та опалювальних систем, що має прямий економічний ефект для власників будівель. Впровадження таких рішень сприяє покращенню енергоефективності будівель, що відповідає сучасним екологічним стандартам і вимогам сталого розвитку.

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.

1 АНАЛІЗ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

1.1 Аналіз основних показників повітря в приміщенні

Якість повітря, яким ми дихаємо у приміщенні, є одним з ключових факторів, що впливає на комфорт, працездатність, а саме головне на здоров'я людей. Сьогодні реальність така, що забруднення повітря у приміщеннях може бути в десять разів вище, ніж у зовнішньому повітрі навіть у місті [1].

Низька якість повітря може мати як короткостроковий, так й довгостроковий вплив на здоров'я людини, що може призвести до погіршення поточного стану людини або визвати нові захворювання.

В наш час широкого поширення набувають автоматизовані та автоматичні системи управління, аналізу та забезпечення якості повітря у приміщенні, включаючи функції опалення, вентиляції, кондиціонування повітря.

У ряді розроблених комерційних зразків таких систем здійснюється безперервний контроль та корекція параметрів температури, вологості та швидкості повітряних потоків, запиленості або ж задимленості повітря, а також інших параметрів мікроклімату в режимі реального часу з використанням технологій збору та обробки даних.

Основними показниками повітря є: температура, рівень вологості, вологість, рівень вуглекислого газу та механічних домішків (пил, мікроорганізми) [2].

Гарне самопочуття людини значною мірою залежить від забезпечення комфортного температурного режиму та вологості повітря у приміщенні. Рекомендований рівень температури для житлового приміщення від +22 °C до +26 °C, для виробничого - від +18 °C до +27 °C. Вихід за межі цього діапазону знижує працездатність та може призвести до захворювань.

Підвищення температури в кімнаті понад 25-26 °C може викликати головний біль, зниження уваги та працездатності. В умовах температури нижче 16-15 °C створюються всі умови для виникнення та загострення захворювань

органів дихання (риніту, бронхіту, плевриту, пневмонії), м'язово-суглобового апарату та периферичної нервової системи (міозиту, ревматизму, невриту, радикуліту), а також загострення інших хронічних хвороб [3].

Вологість повітря – це кількість водяного пару, що знаходиться у повітрі. Коли ми говоримо про ідеальний мікроклімат для нашої оселі або робочого місця, ми маємо на увазі вологість на рівні приблизно 40-60%. Оптимальна для людини відносна вологість повітря — приблизно 50%. Вологість до 40% вважається зниженою, від 60% — підвищеною.

Знижена вологість у приміщенні призводить до:

- 1) Прискорення розмноження і поширення хвороботворних мікроорганізмів.
- 2) Пересушування шкіри, слизових оболонок носоглотки та порушення роботи легенів.
- 3) Зневоднення організму за рахунок підвищеного потовиділення (якщо знижена вологість поєднується з високою температурою).
- 4) Неможливості для серцево-судинної системи нормально засвоювати кисень — як наслідок, до збоїв у роботі серця, загальмованості, втрати свідомості, загальної втоми.

Наслідки підвищеної вологості у квартирі чи будинку:

- 1) Прискорюється ріст і поширення цвілевих грибків.
- 2) Уповільнюється теплообмін, унаслідок чого людині стає важче переносити спеку і холод.
- 3) Загострюються хронічні захворювання суглобів, дихальної та серцево-судинної системи.

Зазначимо, що взимку, коли працюють радіатори опалення, повітря в приміщенні зазвичай виявляється пересушеним — а отже, потребує зволоження.

У повітрі, що видихається, знайдено більше 200 різних сполук, головним чином органічних продуктів метаболізму. Серед хімічних складових повітря в приміщенні велике гігієнічне значення має двоокис вуглецю (CO_2).

CO₂ — вуглекислий газ або діоксид вуглецю — це безбарвний газ, який не має запаху при малих концентраціях. Він виділяється людьми, тваринами та рослинами, наприклад, організм людини здатний виділити близько 1 кг вуглекислого газу на добу. Багато досліджень доводять що показник CO₂ сильно впливає на роботу мозку зокрема на продуктивність, наприклад висока концентрація CO₂ може знижувати швидкість розумової діяльності на 60%. А здатність приймати складні рішення на 50%, що вдвічі зменшує продуктивність через непомітний газ [4].

Рекомендований склад повітря у приміщенні: 20% кисню, 79% азоту, 1% інших газів. У цей 1%, що залишився, входять різноманітні сполуки, одна з яких — CO₂, вуглекислий газ. Його кількість від загальної маси — 0,035-0,04%, або 350-400 ppm. Якщо ці значення буду перевищені то будуть такі наслідки для організму:

300-400 ppm - оптимальне значення;

400-600 ppm - норма для роботи в офісі без зниження продуктивності праці.

На організм ніяк не впливає;

До 600 ppm- норма для спальні, дитячого садка і школи;

600-1000 ppm - падає продуктивність праці, складніше концентрувати увагу і сприймати інформацію. З'являється головний біль;

1000-1500 ppm - людина стає млявою, падає концентрація уваги, складніше приймати рішення, збільшується кількість помилок в роботі. Виникає ризик розвитку хронічної втоми;

Від 1500 - сильний головний біль. Зникає бажання працювати через втому [5].

Вищезгадані симптоми з'являються через порушення роботи обмінних процесів в організмі. За нормальних умов кров, яка циркулює у малому і великому колах, приносить молекули кисню до клітин мозку та інших тканин — м'язів і шкіри. На зворотному шляху кров забирає з клітин вуглекислий газ і продукти розпаду. Коли рівень CO₂ в повітрі, що вдихається, підвищується, кров насичується ним з легень ще перед потраплянням до тканин, і з точки зору

медицини, вона більш окислена. Так починається ацидоз — накопичення двоокису вуглецю внаслідок зниження частоти дихання або дихального обсягу. Обмінні процеси порушуються: клітини гірше засвоюють необхідні речовини та мінерали, мозок і м'язи починають відчувати кисневе голодування. При регулярному перебуванні в таких приміщеннях можуть початися порушення серцево-судинної, опорно-рухової, ендокринної систем.

Тверді частинки (або аерозолі), відомі як PM10 і PM2.5, є одним з найнебезпечніших видів забруднення повітря для здоров'я людини. Ці частинки утворюються як у навколишньому середовищі, так і в приміщеннях, і можуть викликати серйозні проблеми зі здоров'ям, особливо в разі їх підвищеної концентрації в повітрі [6].

PM10 – це тверді частинки діаметром до 10 мікрометрів. До них належать пил, бруд, сажа та інші частинки, які можуть осідати в носовій порожнині, гортані та верхніх дихальних шляхах.

PM2.5 – це частинки, діаметр яких не перевищує 2.5 мікрметри. Вони є більш небезпечними, оскільки можуть проникати глибоко в легені і навіть потрапляти в кровообіг.

Джерела утворення твердих частинок поділяються на: зовнішні і внутрішні.

Зовнішні джерела:

1) Транспорт: вихлопні гази від автомобілів, особливо від дизельних двигунів, є важливим джерелом РМ. Частинки утворюються під час неповного згоряння палива.

2) Промисловість: заводи, електростанції, хімічна промисловість і будівництво виділяють велику кількість твердих частинок у процесі спалювання палива, виробництва цементу та металів.

3) Спалювання біомаси: пожежі, спалювання деревини або сміття можуть спричиняти значні викиди РМ у повітря.

Внутрішні джерела:

1) Куріння: Сигаретний дим є потужним джерелом як PM10, так і PM2.5, особливо в закритих приміщеннях.

2) Побутові прилади: печі, каміни, газові плити та інші нагрівальні пристрої, особливо з неповним згорянням палива, можуть утворювати частинки РМ.

3) Приготування їжі: під час смаження, випікання або смаження на грилі у приміщення може виділятися значна кількість твердих частинок.

4) Будівельні матеріали: під час ремонту чи будівництва, зокрема під час шліфування, різання або фарбування, можуть утворюватися тверді частинки пилу.

Тому задля запобігання проблем зі здоров'ям, для комфорту і продуктивної праці у приміщенні застосовують спеціальні системи моніторингу, контролю якості повітря, які допоможуть людині без великих зусиль знати поточну ситуацію якості повітря і навіть автоматизувати регулювання його показників. Приклади таких систем розглянемо у наступному підрозділі.

1.2 Аналіз існуючих радіотехнічних систем контролю якості повітря

1.2.1 Tervix Pro Line

Датчик Tervix Pro Line призначений для моніторингу якості повітря в приміщенні. Він вимірює рівень вуглекислого газу (CO₂), летких органічних сполук (VOC), формальдегідів (HCHO), а також температуру та вологість. Завдяки підтримці протоколу Zigbee, цей датчик інтегрується в системи "Розумного дому", дозволяючи автоматизувати дії, наприклад, увімкнення вентиляції при високій концентрації шкідливих речовин або відправку повідомлень користувачеві через мобільний додаток. Датчик підходить для побутового використання, офісів або громадських місць для контролю комфорту та безпеки повітря [7]. Зображення датчика показано на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Датчик Tervix Pro Line

Характеристики:

- 1) Вага 96г гр;
- 2) Вологість 0 ... 95%;
- 3) Живлення блок живлення 5В, 1А (230В, 50/60Гц);
- 4) Леткі органічні сполуки (VOC) 0 ... 99.9 ppm;
- 5) Програмний інтерфейс TUYA Smart / Smart Life;
- 6) Радіус дії до 70 м;
- 7) Робоча температура -20°C~+85°C;
- 8) Розмір 90 x 90 x 35 мм;
- 9) CO2 0 ... 1000 ppm;
- 10) Стандарт ZigBee 3.0 (2.4 ГГц);
- 11) Температура 0 ...+ 60°C;
- 12) Формальдегіди (НСНО) 0 ... 10.00 мг/м3.

Датчик Tervix Pro Line для контролю якості повітря, який використовує Zigbee, має низку переваг і недоліків. До переваг можна віднести такі особливості:

1) Мультимоніторинг: датчик вимірює рівень CO2, формальдегідів (НСНО), летких органічних сполук (VOC), а також температуру і вологість

повітря. Це забезпечує комплексний аналіз повітря, що робить його зручним для побутового використання.

2) Автоматизація: завдяки підтримці Zigbee протоколу, його можна інтегрувати в систему "Розумний дім", що дозволяє автоматизувати дії, такі як увімкнення вентиляції або повідомлення через додаток Tuuya Smart або Smart Life.

3) Інтеграція з голосовими помічниками: сумісний з Google Assistant та Alexa, що дозволяє керувати голосом.

До недоліків можна віднести:

1) Залежність від додаткового обладнання: Датчик вимагає наявності безпроводного контролера Tervix Pro Line ZigBee Gateway для роботи, що може бути незручно або додатково збільшити вартість системи.

2) Обмежена сумісність: Незважаючи на підтримку декількох додатків і голосових помічників, пристрій може не підтримувати інші протоколи, що використовуються в розумних будинках.

3) Обмежений температурний діапазон: Датчик працює в межах від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+40^{\circ}\text{C}$, що може бути недостатнім для екстремальних умов або для зовнішнього використання.

4) Чутливість до розташування: Для точних вимірювань важливо правильно розмістити датчик, оскільки потоки повітря біля вікон чи дверей можуть вплинути на точність даних.

1.2.2 Moes WSS-FB-CO2-U

Moes WSS-FB-CO2-U - це пристрій, призначений для забезпечення здорового та комфортного внутрішнього клімату у приміщеннях. Зі зручним підключенням по Wi-Fi та сумісністю з голосовими помічниками, датчик Moes WSS-FB-CO2-U забезпечує простоту використання та доступ до даних з будь-якої точки, використовуючи смартфон або інший пристрій [8]. Його зовнішній вигляд показаний на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Датчик Moes WSS-FB-CO2-U

Характеристики:

- 1) Розміри: 71x25x20 мм;
- 2) Похибка вимірювання температури: $-10^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C} (\pm 2)$;
- 3) Діапазон вимірювання вологості: $20 \sim 80 \% \text{ RH} (\pm 5 \% \text{ RH})$;
- 4) Вимірювання CO₂: 400 - 5000 ppm;
- 5) Джерело живлення: Акумулятор 2400 мАг;
- 6) Зарядка: USB;
- 7) Підтримка голосових помічників: Google Assistant, Amazon Alexa;
- 8) Підключення: Wi-Fi;
- 9) Додаток для керування: Tuуа.

Даний пристрій має широкий спектр застосування у сферах нашого життя.

Його застосовують у таких випадках:

- 1) Домашнє використання: може бути встановлений у житлових приміщеннях для контролю якості повітря та комфортних кліматичних умов.
- 2) Офіси та робочі приміщення: використовується для забезпечення здорових умов роботи, управління вентиляцією та підтримання оптимального рівня CO₂.
- 3) Освітні заклади: може бути встановлений у школах, коледжах та університетах для забезпечення безпечного та здорового середовища навчання.

4) Медичні установи: допомагає контролювати якість повітря в лікарнях, клініках та лабораторіях, де важливо уникати зайвої концентрації CO₂.

5) Торгівельні приміщення та ресторани: Використовується для забезпечення комфортної атмосфери для відвідувачів та персоналу, а також для дотримання санітарних норм та правил.

6) Промислові об'єкти: може бути встановлений у виробничих цехах, складах та інших промислових приміщеннях для контролю за повітрообміном та запобігання небезпечним концентраціям CO₂.

До переваг пристрою можна віднести:

1) Точність вимірювань: Цей датчик забезпечує точний моніторинг рівня CO₂, температури і вологості в приміщенні, з CO₂ діапазоном від 400 до 5000 ppm, що важливо для забезпечення комфорту та безпеки повітря у приміщенні.

2) Wi-Fi підключення: датчик підтримує керування через додатки Smart Life або Tuya, що дозволяє отримувати дані про якість повітря та керувати пристроєм дистанційно.

3) Автоматизація: можна створювати сценарії для інших смарт-пристроїв, таких як відкриття вікон при підвищеній концентрації CO₂ або ввімкнення кондиціонера при високій температурі.

4) Акумулятор і дисплей: пристрій має вбудований акумулятор на 2400 мАг, який може працювати до 40 годин на одному заряді, а також кольоровий дисплей для зручного перегляду показників.

Недоліками пристрою є:

1) Обмежена підтримка Wi-Fi. Він підтримує лише мережі 2.4 GHz, що може бути незручним, якщо у вас налаштована 5 GHz мережа.

2) Час автономної роботи. Хоча акумулятор забезпечує до 40 годин роботи в режимі очікування, під час активного використання час роботи може бути значно коротшим, близько 6 годин.

3) Обмежені функції дисплею. Хоча дисплей зручний для читання, деякі користувачі можуть вважати його функціонал обмеженим, порівняно з іншими схожими пристроями.

Цей датчик добре підходить для домашнього використання, офісів або навчальних закладів, але його автономна робота може бути недостатньо довгою для постійного використання без підзарядки.

1.2.3 Ajax LifeQuality

Ajax LifeQuality — розумний датчик якості повітря, що поєднує в собі медичну точність вимірювань та професійні технології безпеки. Пристрій показує концентрацію вуглекислого газу у приміщенні, рівень температури та вологості, а також допомагає автоматизувати домашні пристрої за цими параметрами [9]. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Датчик LifeQuality

Характеристики:

- 1) Вимірювання температури: від 0°C до +50°C ($\pm 0,2^\circ\text{C}$);
- 2) Вимірювання вологості: від 0% до 100% ($\pm 1,8\%$);
- 3) Вимірювання CO₂: від 400 до 10000 ppm (± 30 ppm або $\pm 3\%$);
- 4) Розміри: 77 × 77 × 34,5 мм;
- 5) Вага: 127 г;
- 6) Джерело живлення: 2 батареї CR123A.

LifeQuality розроблено спеціально для побудови комплексної системи моніторингу якості повітря. Він оснащений сенсорами, які використовуються в

професійному медичному обладнанні. Sunrise від Senseair — це недисперсний інфрачервоний сенсор, який вимірює концентрацію вуглекислого газу прямим методом. На відміну від VOC-рішень, цей тип сенсорів показує фактичні і точні дані концентрації CO₂ незалежно від наявності в повітрі забруднюючих речовин, таких як аерозолі чи пара.

SHT40 від Sensirion — це цифровий сенсор, що використовують навіть у промисловості. Він відповідає за вимірювання відносної вологості та температури. Чутливий елемент створено для роботи у складних умовах, де є ймовірність утворення конденсату. SHT40 має механізм самодіагностики та забезпечує точність до $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$.

LifeQuality є частиною системи Ajax і може приводити в дію пристрої автоматизації — реле WallSwitch й Relay та розумну розетку Socket.

Сценарії автоматизації налаштовуються на об'єкті та дистанційно, у застосунку Ajax. LifeQuality об'єднує всі найкращі охоронні технології Ajax у систему моніторингу якості повітря.

Jeweller. Радіопротокол Jeweller забезпечує до 1700 метрів захищеного зв'язку — надійніше, ніж Wi-Fi та протоколи Zigbee або Z-Wave. А ретранслятор радіосигналу збільшує дальність захищеного зв'язку удвічі — до 3400 метрів.

Підводячи підсумки до переваг LifeQuality можна віднести:

1) Точність вимірювань: LifeQuality Jeweller забезпечує медичну точність вимірювань рівня вуглекислого газу (CO₂), температури та вологості. Використовує високоякісні сенсори швейцарських і шведських розробників, що дозволяє отримувати стабільні та точні результати протягом тривалого часу (до 15 років) без необхідності калібрування.

2) Автономність: пристрій працює від двох батарейок CR123A, які забезпечують до 3 років автономної роботи. Не потребує підключення до електромережі, що дозволяє розміщувати його в будь-якому зручному місці.

3) Інтеграція в екосистему Ajax: можливість автоматизувати сценарії контролю клімату, наприклад, увімкнення вентиляції або обігрівача на основі

показників якості повітря. Може бути частиною великої системи автоматизації будинку або офісу.

4) Простота у використанні: LED-індикатор дозволяє швидко перевірити якість повітря, не заходячи в додаток. Доступ до даних через мобільні додатки з можливістю віддаленої конфігурації та отримання push-сповіщень про зміни показників.

Недоліками даної розробки можуть бути:

1) Ціна - Пристрій відносно дорогий порівняно з іншими детекторами якості повітря на ринку. Це може бути стримуючим фактором для багатьох користувачів.

2) Залежність від екосистеми Ajax - для повного функціоналу та автоматизації необхідно мати інші пристрої з екосистеми Ajax, що може вимагати додаткових витрат на налаштування системи.

3) Обмеження температурного діапазону. LifeQuality працює лише в умовах від 0 до +50°C, що може бути недоліком для використання в певних кліматичних умовах

1.3 Аналіз переваг та недоліків оглянутих систем

Познайомившись з запропонованими представниками готових розробок в попередньому підрозділі, можна зробити порівняльну характеристику між ними і дізнатися, який з них є кращим. Порівняльна характеристика будуватиметься за такими параметрами як: функціональність, автономність, точність, ціна [10].

Функціональність:

1) LifeQuality Jeweller окрім моніторингу CO₂, цей датчик відстежує вологість та температуру з високою точністю. Він частина екосистеми Ajax, що дозволяє налаштовувати автоматизацію інших пристроїв, наприклад, систем опалення або вентиляції. Однак функції автоматизації доступні лише за наявності інших пристроїв Ajax.

2) Moes WSS-FB-CO2-U підтримує вимірювання CO2, температури та вологості і має можливість працювати з Wi-Fi через додатки Smart Life або Tuuya, дозволяючи створювати смарт-сценарії для автоматизації. Перевагою є можливість дистанційного управління, але він менш точний, ніж LifeQuality.

3) Tervix Pro Line - цей датчик відстежує CO2, температуру, вологість, а також формальдегіди (HCHO) і леткі органічні сполуки (VOC). Він є частиною системи Zigbee і підтримує автоматизацію за допомогою контролера. Він забезпечує комплексніші вимірювання повітря, що робить його привабливим для користувачів, які шукають максимальну кількість даних [11].

Автономність і джерело живлення:

1) LifeQuality Jeweller працює від батарейок CR123A з терміном служби до 3 років, що дозволяє використовувати його без підключення до мережі.

2) Moes WSS-FB-CO2-U має вбудований акумулятор, який працює до 40 годин у режимі очікування, але активне використання може скоротити цей час до 6 годин.

3) Tervix Pro Line живиться від USB (5B, 1A), що вимагає постійного підключення до електромережі, проте не потребує періодичної заміни батарей.

Точність і чутливість:

1) LifeQuality Jeweller використовує високоточні сенсори для вимірювання CO2, температури і вологості, що робить його дуже надійним і стабільним у вимірюваннях. Він підходить для тривалого використання з мінімальними вимогами до калібрування.

2) Moes WSS-FB-CO2-U має хорошу точність, проте поступається LifeQuality в стабільності вимірювань. Для побутових потреб він достатньо ефективний.

3) Tervix Pro Line забезпечує широкий спектр вимірювань (CO2, HCHO, VOC, температура, вологість), що робить його потужним інструментом для моніторингу якості повітря. Точність вимірювання є достатньою для побутових умов, хоча потребує правильного встановлення для точних показників.

Ціна та доступність:

1) LifeQuality Jeweller - цей пристрій має досить високу вартість через свою інтеграцію в екосистему Ajax і високу точність вимірювань.

2) Moes WSS-FB-CO2-U порівняно недорогий і функціональний, проте пропонує дещо менший рівень автоматизації точності порівняно з LifeQuality.

3) Tervix Pro Line пропонує розширену функціональність (моніторинг НСНО і VOC), але вимагає додаткових вкладень для покупки контролера Zigbee, що може зробити його більш дорогим, ніж Moes, але дешевшим за LifeQuality [12].

Виходячи з порівнянь можна зробити висновки:

1) LifeQuality Jeweller — найкращий вибір для користувачів, яким потрібна висока точність вимірювань і тривала автономність. Проте він має високу вартість і залежить від інших пристроїв Ajax для автоматизації.

2) Moes WSS-FB-CO2-U — ідеальний для користувачів, які шукають доступний варіант з хорошим функціоналом та дистанційним керуванням через Wi-Fi, хоча автономність і точність дещо обмежені.

3) Tervix Pro Line — найкраще підходить для тих, хто хоче отримати комплексний моніторинг якості повітря з можливістю автоматизації через Zigbee. Однак для повноцінної роботи потрібен додатковий контролер [13].

1.4 Висновки до розділу

Якість повітря в приміщеннях є критично важливим фактором, що впливає на здоров'я, комфорт і продуктивність людей. Показники повітря, таких як температура, вологість, вміст вуглекислого газу та тверді частинки впливають на фізичний стан і психічну діяльність людини в приміщенні. Встановлено, що зниження або підвищення цих показників може призвести до серйозних проблем зі здоров'ям.

Були розглянуті існуючі датчики контролю якості повітря, такі як Tervix Pro Line, Moes WSS-FB-CO2-U та Ajax LifeQuality. Кожен з цих пристроїв має свої сильні та слабкі сторони. Наприклад, Tervix Pro Line пропонує інтеграцію в

систему "Розумного дому", проте залежить від додаткового обладнання. Moes WSS-FB-CO2-U забезпечує точні вимірювання, але має обмежену автономність. Ajax LifeQuality виділяється високою точністю, але він занадто дорогий і залежить від власної системи Ajax. З огляду на переваги та недоліки зазначених пристроїв, виникає необхідність у розробці власного пристрою для моніторингу якості повітря, який би враховував ці аспекти.

2 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ

2.1 Аналіз та вибір мікроконтролера для реалізації радіотехнічної системи

Мікроконтролер є головним компонентом у радіотехнічній системі аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні, адже саме він відповідає за обробку даних із сенсорів, керування виконавчими елементами та передачу інформації користувачу. Його продуктивність визначає швидкість і точність аналізу таких параметрів, як рівень CO₂, температура, вологість чи концентрація шкідливих речовин. Енергоспоживання мікроконтролера впливає на тривалість роботи пристрою від батареї, а підтримка інтерфейсів — на можливість інтеграції з іншими системами, наприклад, розумним будинком [14]. Тому вибір мікроконтролера має бути ретельним, з урахуванням технічних вимог і умов експлуатації, щоб забезпечити надійну роботу системи та високий рівень якості повітря. Далі розглянуто декілька типів мікроконтролерів таких, як: Atmel, ESP, ARM.

2.1.1 Мікроконтролери Atmel

Мікроконтролери Atmel, нині відомі як частина Microchip Technology, представляють широкий спектр пристроїв, які знаходять застосування в різних галузях — від побутової електроніки до складних промислових систем. Ці мікроконтролери відзначаються поєднанням високої продуктивності, доступної ціни та енергоефективності. Головними сімействами є AVR, SAM і AT89, кожне з яких має свої унікальні технічні особливості та сфери застосування.

Архітектура мікроконтролерів AVR базується на 8-бітній RISC-архітектурі, що дозволяє ефективно виконувати операції з мінімальними витратами тактів процесора. Вони підтримують різноманітні інтерфейси передачі даних, зокрема UART, SPI та I2C, що забезпечує їхню сумісність із широким спектром периферійних пристроїв. Ряд моделей, як-от ATmega32U4,

оснащені USB-інтерфейсами для прямої взаємодії з комп'ютерами. Енергоспоживання AVR контролерів залишається низьким завдяки багатьом режимам збереження енергії, таким як Power-Down і Idle, які дозволяють економити енергію під час простою. Об'єм Flash-пам'яті може досягати 256 КБ, а оперативна пам'ять (SRAM) — до 16 КБ, що дозволяє використовувати ці пристрої для широкого спектру додатків, включаючи IoT-пристрої та портативну електроніку.

Сімейство SAM включає 32-бітні мікроконтролери на основі архітектури ARM Cortex-M. Ці пристрої значно потужніші, ніж AVR, і орієнтовані на завдання, що потребують високої обчислювальної продуктивності. Вони підтримують частоти до 300 МГц і мають вбудовану апаратну підтримку операцій із рухомою комою, що робить їх ідеальними для обробки сигналів і задач машинного навчання. Інтерфейси передачі даних у SAM-контролерах включають USB, Ethernet, CAN, I2C та SPI. Деякі моделі оснащені підтримкою криптографічних функцій і технологією TrustZone для забезпечення високого рівня безпеки даних. Обсяг Flash-пам'яті досягає 2 МБ, а RAM — до 384 КБ, що дозволяє запускати складні програми, включаючи реальні операційні системи. Завдяки технології picoPower енергоспоживання SAM залишається оптимізованим навіть у продуктивних режимах.

AT89 є класичною серією 8-бітних мікроконтролерів на базі архітектури 8051. Вони орієнтовані на прості додатки, де потрібна висока надійність і тривалий життєвий цикл. Ці пристрої забезпечують базові можливості для передачі даних через UART, SPI та I2C, але поступаються сучасним контролерам у продуктивності та підтримці інтерфейсів. Їхня Flash-пам'ять досягає 64 КБ, а SRAM — до 1 КБ, що обмежує їхнє використання у складних додатках.

Перевагами мікроконтролерів Atmel є їхня універсальність і зручність у розробці. Широка підтримка інструментів розробки, включаючи Atmel Studio та інші IDE, дозволяє швидко освоїти програмування. Багато моделей інтегровані в популярну платформу Arduino, що значно спрощує створення прототипів. Крім

того, мікроконтролери Atmel характеризуються стабільністю роботи, що є критичним для промислових додатків.

Однак є й недоліки. AVR-мікроконтролери поступаються сучасним 32-бітним рішенням у продуктивності та функціональності. Складність освоєння SAM-контролерів через багатство функцій і периферії може стати бар'єром для новачків. Також ціна на високопродуктивні SAM-пристрої може бути вищою, ніж на конкурентні моделі інших виробників.

У цілому, мікроконтролери Atmel залишаються важливими гравцями на ринку вбудованих систем. AVR підходять для простих і енергоефективних задач, SAM — для складних і продуктивних рішень, а AT89 зберігають популярність у традиційних системах управління. Їхній вибір залежить від конкретних потреб і бюджету проекту [15].

Однією з ключових технічних особливостей мікроконтролерів Atmel є підтримка різних способів передачі даних. Вони оснащені інтерфейсами SPI, I2C, UART і CAN, що робить їх універсальними для взаємодії з периферійними пристроями. Це дозволяє інтегрувати мікроконтролери в системи різної складності, від простих сенсорних вузлів до складних систем управління. Для збереження даних мікроконтролери мають вбудовану флеш-пам'ять і EEPROM, обсяг яких варіюється залежно від моделі, що дозволяє зберігати програмний код і дані без необхідності використання зовнішніх носіїв.

Енергоспоживання мікроконтролерів Atmel оптимізоване для роботи у вбудованих системах, які живляться від батарей. Багато моделей підтримують режими низького споживання енергії, наприклад, sleep і deep sleep, що значно збільшує тривалість роботи пристроїв на автономному живленні. Ця функція робить їх ідеальними для застосувань в IoT, портативних гаджетах та інших системах, де енергоефективність є критичною.

Ще однією важливою перевагою є багатий набір периферійних модулів, таких як аналогово-цифрові перетворювачі (ADC), цифрово-аналогові перетворювачі (DAC), таймери, PWM-модулі, що дозволяє реалізовувати

широкий спектр завдань без потреби в додаткових компонентах. Це суттєво скорочує час і вартість розробки кінцевого продукту.

До недоліків можна віднести обмежену продуктивність деяких моделей для задач, які потребують великої обчислювальної потужності або багатозадачності. Хоча AVR-архітектура мікроконтролерів Atmel чудово підходить для багатьох вбудованих задач, у порівнянні з сучасними 32-бітними мікроконтролерами вона може виявитися недостатньо потужною. Окрім того, у деяких випадках розробники можуть зіштовхнутися з вищою ціною порівняно з конкурентами, особливо в бюджетних проектах.

Мікроконтролери Atmel також мають сильну екосистему підтримки, включаючи інструменти для розробки, такі як середовище Atmel Studio, і велику спільноту користувачів, що сприяє швидкому пошуку рішень для різних технічних питань. Це, разом із підтримкою мов програмування C та C++, робить їх зручними для навчання і використання навіть для новачків [16].

2.1.2 Мікроконтролери ESP

ESP — це сучасний мікроконтролер від компанії Espressif, який виділяється серед інших мікроконтролерів своєю продуктивністю, низьким енергоспоживанням та розширеними можливостями бездротової передачі даних. Основним представником цих мікроконтролерів є ESP32-C3. Завдяки підтримці як Wi-Fi, так і Bluetooth Low Energy (BLE), ESP32-C3 є ідеальним рішенням для IoT-пристроїв, де важливо забезпечити стабільний і швидкий обмін даними з іншими пристроями або мережею. ESP32-C3 базується на 32-бітовому процесорі RISC-V і має ряд переваг, які роблять його конкурентоздатним вибором у порівнянні з іншими мікроконтролерами.

Однією з головних переваг ESP32-C3 є інтегрована підтримка Wi-Fi та Bluetooth Low Energy (BLE). ESP32-C3 підтримує стандарт IEEE 802.11 b/g/n, що дозволяє працювати на частоті 2.4 ГГц з високою швидкістю передачі даних. Це робить його ідеальним для підключення до локальної мережі, віддаленого

доступу до Інтернету, завантаження оновлень та передачі великих обсягів даних у режимі реального часу.

Bluetooth Low Energy особливо корисний для створення енергоефективних з'єднань між пристроями на короткій відстані. Це дозволяє мікроконтролеру передавати дані без значного впливу на споживання енергії, що важливо для пристроїв на батарейному живленні. BLE також підтримує різні профілі, включаючи передачу даних, передачу сенсорної інформації, що дозволяє легко інтегрувати ESP32-C3 у проекти з переносними або портативними пристроями.

Завдяки підтримці Wi-Fi, ESP32-C3 здатний забезпечувати стабільну швидкість передачі даних до 150 Мбіт/с. Це дозволяє використовувати мікроконтролер у проектах, де потрібна висока пропускна здатність, наприклад, для передачі мультимедійного контенту, даних з сенсорів або великої кількості даних IoT-пристроїв [17].

Хоча ESP32-C3 підтримує високу швидкість передачі даних, він має режими низького енергоспоживання, які дозволяють економити заряд батареї під час передачі даних:

Режим глибокого сну (Deep Sleep) і режим легкого сну (Light Sleep): ці режими дозволяють мікроконтролеру знижувати енергоспоживання, зберігаючи можливість передачі даних у відповідний час.

Dynamic Power Management ESP32-C3 здатний динамічно управляти споживанням енергії в залежності від інтенсивності навантаження, що дозволяє ефективно використовувати енергію навіть під час передачі даних.

ESP32-C3 оснащений потужними засобами безпеки для захисту переданих даних, що особливо важливо для IoT-пристроїв, які можуть обмінюватися конфіденційною інформацією:

Апаратна підтримка шифрування: ESP32-C3 має вбудовані модулі шифрування, включаючи AES, SHA, RSA, що дозволяє забезпечити надійний захист даних на апаратному рівні.

Система шифрування Wi-Fi і BLE: мікроконтролер підтримує протоколи безпеки WPA2 та WPA3 для Wi-Fi, а також має підтримку шифрування на рівні Bluetooth для безпечної передачі даних.

Secure Boot та Flash Encryption: забезпечує захист прошивки і зберігання даних від несанкціонованого доступу, що дозволяє захистити IoT-пристрій від атак.

ESP32-C3 працює на основі 32-бітного процесора RISC-V, що дозволяє обробляти дані та управляти передачею значно швидше, ніж попередні моделі. Цей процесор підтримує паралельну обробку задач, що забезпечує ефективну передачу даних навіть у проектах з високими вимогами до продуктивності.

ESP32-C3 має підтримку протоколів, які широко використовуються для передачі даних в IoT-середовищі:

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport): підтримка MQTT дозволяє використовувати ESP32-C3 для швидкої та ефективної передачі даних між сервером і пристроєм, що особливо корисно для моніторингу та управління пристроями в реальному часі, принцип роботи і підключення пристроїв за допомогою MQTT показана на рисунку 4, додаток А.

HTTP та HTTPS: ESP32-C3 підтримує передачу даних за допомогою HTTP/HTTPS-протоколу, що дозволяє безпечно підключати пристрої до веб-серверів та працювати з REST API для передачі даних у хмару або інші сервіси.

WebSocket: підтримка WebSocket протоколу для двостороннього обміну даними в реальному часі, що дозволяє передавати великі обсяги даних з низькими затримками.

ESP32-C3 є недорогим і широко доступним мікроконтролером, що робить його привабливим для масового використання в IoT-проектах з передачею даних. Завдяки широкій підтримці в спільноті розробників і великій кількості бібліотек, ESP32-C3 легко налаштовується для роботи з різними датчиками, модулями і серверами.

Перевагами ESP32-C3 в порівнянні з іншими мікроконтролерами є:

Багатоцільова передача даних: підтримка Wi-Fi та BLE дозволяє передавати дані різними способами, забезпечуючи гнучкість у виборі протоколу для конкретного завдання.

Низьке енергоспоживання: порівняно з іншими мікроконтролерами, які підтримують лише один протокол передачі даних (наприклад, Wi-Fi або BLE), ESP32-C3 має більшу енергоефективність, зберігаючи при цьому високу швидкість обміну інформацією.

Безпека передачі даних: завдяки апаратному шифруванню і підтримці сучасних протоколів безпеки, ESP32-C3 забезпечує надійний захист інформації, що передається.

Висока продуктивність при передачі даних: процесор RISC-V надає достатньо потужності для роботи з інтенсивними завданнями обробки та передачі даних, що робить ESP32-C3 конкурентоспроможним вибором для IoT і промислових застосувань.

ESP32-C3 є надзвичайно привабливим мікроконтролером для IoT-застосувань, де важлива передача даних і безпека. Завдяки підтримці Wi-Fi та BLE, високій продуктивності та енергоефективності, ESP32-C3 забезпечує гнучкість у використанні та є надійним вибором для проектів з підключенням до мережі, контролем і моніторингом в режимі реального часу.

2.1.3 Мікроконтролери ARM

Мікроконтролери на базі архітектури ARM є одними з найпоширеніших рішень у світі вбудованих систем. Їх розробка зосереджена на поєднанні високої продуктивності, енергоефективності та масштабованості. Архітектура ARM представлена кількома основними сімействами, такими як Cortex-M для мікроконтролерів, Cortex-A для високопродуктивних застосувань і Cortex-R для реального часу. Найчастіше в мікроконтролерах використовуються ядра серії Cortex-M, які мають багатий набір функцій, оптимізованих для енергоефективності [17].

ARM-мікроконтролери підтримують широкий набір інтерфейсів передачі даних, включаючи SPI, I2C, UART, USB, Ethernet і CAN, що робить їх придатними для роботи в різних мережах. Деякі моделі також інтегрують сучасні інтерфейси, такі як Wi-Fi та Bluetooth, спрощуючи створення IoT-пристроїв. Завдяки наявності DMA-контролерів і апаратного прискорення, ARM забезпечують високу швидкість передачі даних із мінімальними витратами ресурсів центрального процесора.

Енергоспоживання ARM-мікроконтролерів є однією з їхніх сильних сторін. Технології управління живленням дозволяють використовувати кілька режимів енергозбереження, зокрема Sleep, Deep Sleep і Standby. Це забезпечує низьке споживання енергії як у активному режимі, так і під час простою. Деякі мікроконтролери спеціально оптимізовані для живлення від батарей, що є важливим для портативних пристроїв.

Об'єм пам'яті у мікроконтролерах ARM варіюється залежно від моделі. Flash-пам'ять для зберігання програми може досягати кількох мегабайтів, тоді як оперативна пам'ять (SRAM) становить від кількох десятків до сотень кілобайтів. Ці характеристики дозволяють ефективно працювати як зі звичайними вбудованими додатками, так і з більш складними завданнями, що потребують значних обчислювальних ресурсів.

Процесорна потужність ARM-мікроконтролерів визначається використанням RISC-архітектури, що забезпечує високу продуктивність при низькому енергоспоживанні. Ядра Cortex-M0 та M0+ призначені для базових застосувань, мають низьку тактову частоту (зазвичай до 50 МГц) і споживають мінімум енергії. Cortex-M3 і M4 мають розширені можливості, такі як апаратна підтримка операцій із рухомою комою, що корисно для обробки сигналів. Cortex-M7 і M33 орієнтовані на високопродуктивні системи з тактовими частотами до 600 МГц, забезпечуючи продуктивність, близьку до повноцінних процесорів.

Безпека даних є ключовим аспектом сучасних ARM-мікроконтролерів. Багато моделей оснащені модулями криптографії, захистом від несанкціонованого доступу до пам'яті та механізмами безпечного завантаження

прошивки. Підтримка технології TrustZone дозволяє розмежовувати доступ між захищеними та незахищеними областями програмного коду, що критично для IoT та фінансових додатків.

Основною перевагою ARM-мікроконтролерів є їхня універсальність і масштабованість. Завдяки різноманіттю моделей, розробники можуть обрати пристрій, який точно відповідає вимогам їхнього проекту. Також слід відзначити широку екосистему інструментів розробки, включаючи безкоштовні IDE та бібліотеки. Крім того, ARM-мікроконтролери підтримують різноманітні операційні системи реального часу (RTOS), що спрощує створення багатозадачних програм.

Проте ARM-мікроконтролери мають і недоліки. Через високу функціональність і складну периферію, їх освоєння може бути викликом для початківців. Більше того, ціна ARM-мікроконтролерів, особливо високопродуктивних моделей, може бути значно вищою порівняно з 8-бітними рішеннями. Для проектів із дуже низькими вимогами до ресурсів це може бути надмірністю.

Таким чином, мікроконтролери ARM є ідеальним вибором для задач, де потрібна висока продуктивність, розвинена периферія та енергоефективність. Вони широко використовуються в промислових системах, IoT-пристроях, робототехніці та інших галузях, де потрібна надійність і гнучкість.

Провівши аналіз існуючих мікроконтролерів було вирішено обрати ESP32-S3, тому, що мікроконтролери Atmel вимагають додаткового підключення модуля підключення Wi-Fi до інтернету, ARM мікроконтролери занадто потужні для наших потреб, тому ESP повністю задовільняють потреби для розробки власної радіотехнічної системи.

2.2 Розробка загальної структурної схеми

Здійснивши аналіз результатів попереднього розділу, для створення власної радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря було

розроблено схему загального принципу роботи системи, що зображена на рисунку 2.1 та загальну структурну схему радіотехнічної системи, яка представлена нижче на рисунку 2.2.

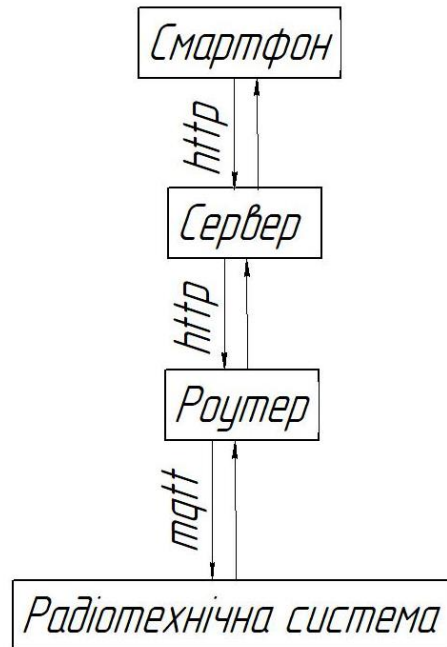


Рисунок 2.1 – Загальний принцип роботи радіотехнічної системи

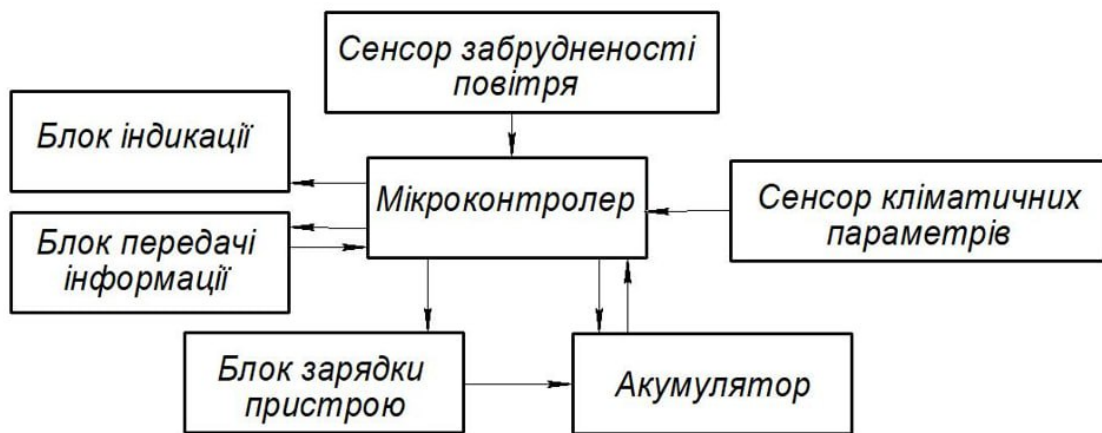


Рисунок 2.2 – Загальна структурна схема радіотехнічної системи

Структурна схема складається з таких функціональних блоків: сенсор забрудненості повітря, сенсор кліматичних параметрів, мікроконтролер, блок індикації, блок передачі інформації, блок зарядки пристрою та акумулятор.

Сенсор забрудненості повітря – цей елемент відповідає за вимірювання рівня забруднення у навколишньому середовищі. Він безпосередньо підключений до мікроконтролера, який обробляє отримані дані [18][19].

Сенсор кліматичних параметрів – відповідає за збір додаткових екологічних даних, таких як температура, вологість та інші кліматичні показники. Як і сенсор забрудненості, він підключений до мікроконтролера.

Мікроконтролер – основний елемент системи, який здійснює обробку даних з сенсорів, а також взаємодію з іншими блоками. Він приймає сигнали з сенсорів, обробляє їх і передає інформацію в інші модулі.

Блок індикації – цей блок забезпечує виведення даних для користувача. Він може бути реалізований у вигляді світлодіодних індикаторів або екранів, на яких відображається стан повітря та інші екологічні параметри.

Блок передачі інформації – відповідає за передачу зібраних даних у зовнішні системи або на віддалені сервери для подальшого аналізу. Це може бути здійснено за допомогою бездротових технологій зв'язку, таких як Wi-Fi, GSM, або Bluetooth.

Блок зарядки пристрою – цей блок відповідає за зарядку акумулятора пристрою та забезпечує його живлення.

Акумулятор – забезпечує автономну роботу системи, що дозволяє пристрою функціонувати без постійного підключення до джерела живлення.

Усі ці елементи взаємодіють між собою, що забезпечує комплексний моніторинг та аналіз стану повітря. Мікроконтролер об'єднує всі частини системи і є центральним вузлом, який координує роботу всієї апаратної платформи [20].

2.3 Вибір компонентної бази

Для радіотехнічної системи основуючись розробленою структурною схемою було обрано наступну компонентну базу, яка в свою чергу має бути доступною та задовільняла потреби:

1. Мікроконтролер ESP32-C3. На сучасному ринку існують безліч мікроконтролерів, таких як STM32 чи ATmega, але ми обираємо ESP32-C3 тому, що він поєднує Wi-Fi і Bluetooth для бездротової комунікації, забезпечуючи просте підключення до мережі та високопродуктивну роботу [21]. Він є одним з найсучасніших мікроконтролерів, що поєднує в собі потужність, ефективність та бездротову комунікацію. До його переваг можна віднести:

1) Wi-Fi та Bluetooth - інтегровані модулі бездротового зв'язку дозволяють легко підключатися до інтернету та інших пристроїв.

2) Висока продуктивність - завдяки архітектурі RISC-V забезпечує високу продуктивність обробки даних.

3) Низьке енергоспоживання. Економічний у споживанні енергії, що важливо для автономних пристроїв.

4) Гнучкість в програмуванні, наявність великої кількості GPIO (вхід/вихід), що дозволяє підключати багато сенсорів та модулів.

2. Сенсор кліматичних параметрів SCD41. Проаналізувавши багато сенсорів кліматичних параметрів, таких як BME680 або SHT31, ми обираємо SCD41 завдяки його високій точності та здатності вимірювати CO₂, що робить його ідеальним для моніторингу якості повітря. Він є точним та надійним сенсором для вимірювання CO₂, температури та вологості [22]. До його переваг можна віднести:

1) Висока точність - має вбудовану корекцію для покращення точності вимірів.

2) Компактність - має малий розмір, що спрощує інтеграцію в систему.

3) Легкість в калібруванні та використанні, що робить його ідеальним для моніторингу якості повітря.

3. PMS9103M. Існують різні аналоги датчиків, наприклад, SDS011 та PPD42, але ми обираємо PMS9103M через його лазерну технологію для високоточного вимірювання PM2.5 і PM10, що забезпечує стабільний моніторинг забрудненості. Датчик забрудненості повітря забезпечує точні

вимірювання рівнів твердих часток (PM2.5, PM10) у повітрі [23]. До його переваг можна віднести:

1) Широкий діапазон вимірювань - може вимірювати частинки різного розміру, що дозволяє точно оцінити забрудненість повітря.

2) Сучасні технології. Використовує лазерну технологію для детекції, що забезпечує високу точність.

3) Висока швидкість відгуку та стабільність у вимірюваннях.

4. OA-W01. На ринку є Wi-Fi модулі, як ESP8266 або RFM69, але ми обираємо OA-W01 через його підтримку кількох частот, що дозволяє використовувати його в різних мережевих умовах для надійної передачі даних. Модуль передачі даних забезпечує надійну бездротову передачу даних через Wi-Fi, що є важливим для віддаленого моніторингу. До його переваг можна віднести:

1) Підтримка кількох частот: Працює в діапазонах 2.4G, 5G, 5.8G, що забезпечує гнучкість у підключенні.

2) Легкість інтеграції - простий у використанні та налаштуванні, що скорочує час розробки.

3) Можливість віддаленого доступу до даних, що дозволяє своєчасно реагувати на зміни якості повітря.

5. Світлодіоди блока WS2812B забезпечують яскраву індикацію, що дозволяє візуально відстежувати стан системи. До його переваг можна віднести:

1) RGB підсвічування: Можливість зміни кольору та яскравості, що дозволяє інформувати користувача про стан системи.

2) Простота управління - легко програмується через мікроконтролер.

3) Підвищує зручність використання системи, надаючи візуальну інформацію.

6. TP4056 блок зарядки. Серед доступних зарядних модулів, таких як MCP73831 або CN3065, ми обираємо TP4056 за його функцію автоматичного управління зарядом, яка підвищує безпеку і подовжує термін служби літій-

іонних акумуляторів [24]. Блок забезпечує надійне та ефективне заряджання акумуляторів. До його переваг можна віднести:

1) Автоматичне управління зарядом: Контролює напругу та струм, що забезпечує безпеку та довговічність акумулятора.

2) Сумісність - підходить для заряджання літій-іонних акумуляторів.

3) Спрощує процес заряджання та забезпечує безпеку при експлуатації.

7. Акумулятор 18650 широко використовується в портативних пристроях через свою високу ємність та компактні розміри. До його переваг можна віднести:

1) Висока ємність: Забезпечує тривалий час роботи пристрою без підзарядки.

2) Легка заміна: Простий у заміні, що дозволяє легко обслуговувати пристрій.

3) Ідеальний для автономної роботи, надає необхідну мобільність.

8. Резистор SMD 0805 10 кОм використовується для зменшення напруги до безпечного рівня. До його переваг можна віднести:

1) Компактність: малий розмір SMD дозволяє заощадити простір на платі.

2) Висока точність забезпечує точний дільник напруги, що важливо для стабільної роботи мікроконтролера.

3) Легко інтегрується в схеми, що зменшує складність проектування.

9. MSK-12C01-07 мікроперемикач забезпечує зручний доступ для ручного ввімкнення або вимкнення пристрою.

1) Простота використання: легко інтегрується в систему, що робить його зручним у використанні.

2) Надійність: має тривалий термін служби, що забезпечує стабільну роботу системи.

3) Дозволяє користувачеві мати контроль над пристроєм, що підвищує зручність експлуатації.

2.4 Розробка детальної структурної схеми

Завершивши вибір компонентної бази, наступним кроком є реалізація детальної структурної схеми ґрунтуючись розробленою загальною структурною схемою. Готовий вигляд розробленої детальної структурної схеми зображено нижче на рисунку 2.2.

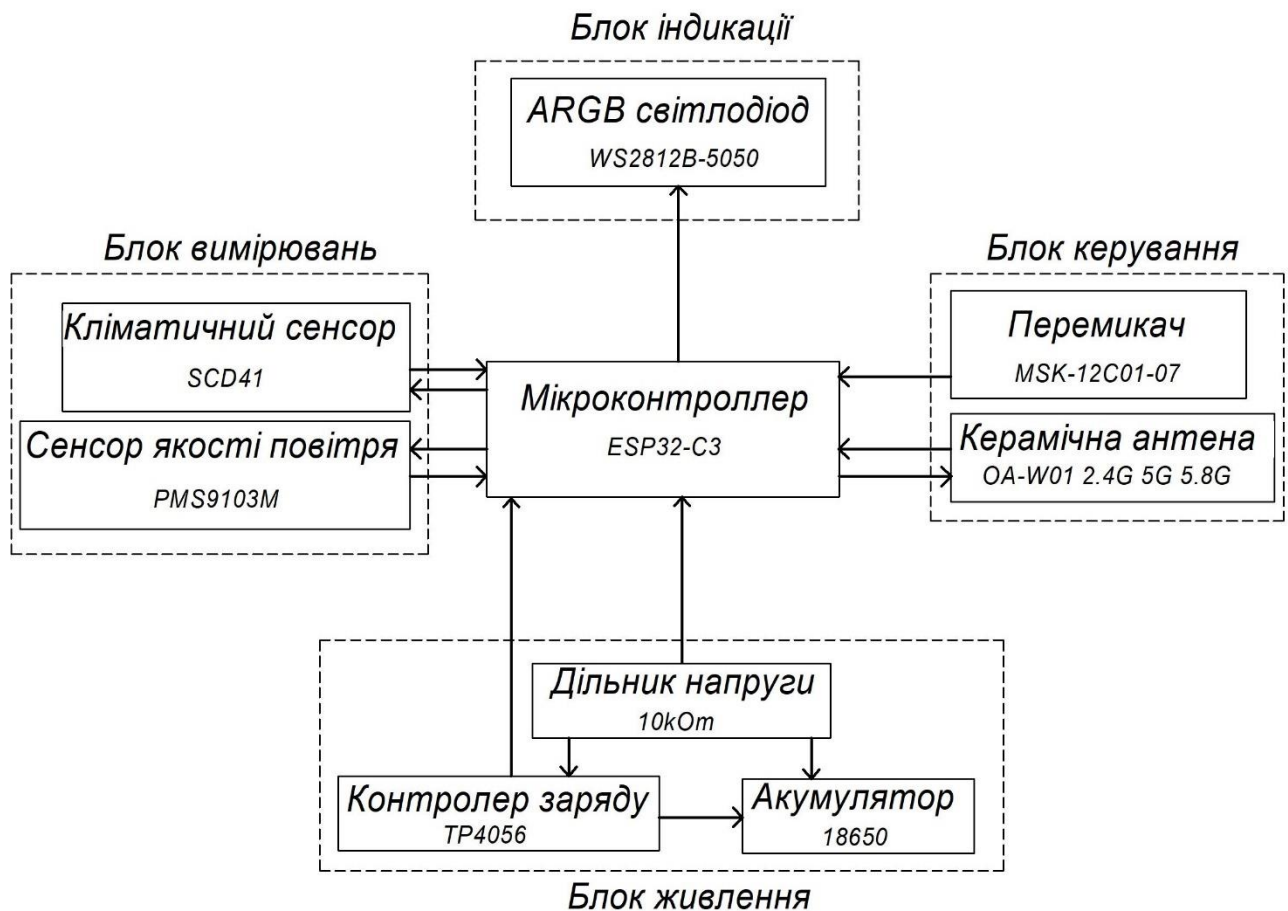


Рисунок 2.2 – Детальна структурна схема радіотехнічної системи

Мікроконтролер ESP32-C3: Це основний компонент, що контролює всі інші модулі в системі. Він відповідає за обробку даних від сенсорів та взаємодію з іншими елементами системи.

SCD41 – сенсор кліматичних параметрів (температури, вологості, CO₂). Він передає дані про мікроклімат у приміщенні на мікроконтролер [25].

PMS9103M – датчик забрудненості повітря, що вимірює рівень твердих часток в повітрі (PM2.5, PM10). Він передає ці дані на мікроконтролер для подальшого аналізу.

OA-W01 – модуль передачі даних, що забезпечує зв'язок з мережею Wi-Fi (2.4G, 5G, 5.8G). Цей блок передає інформацію про стан повітря на зовнішні сервери або інші пристрої для моніторингу та обробки даних.

WS2812B – блок індикації, що представляє світлодіоди для візуальної індикації рівня забрудненості повітря або стану роботи пристрою. Залежно від умов, мікроконтролер змінює колір або яскравість світлодіодів.

TP4056 – блок зарядки, що забезпечує заряджання акумулятора (18650). Він відповідає за контроль струму і напруги під час зарядки для забезпечення безпеки й ефективності роботи пристрою [26].

Акумулятор 18650 – основне джерело живлення для системи. Забезпечує автономну роботу пристрою.

Резистор smd 0805 10 кОм – використовується як дільник напруги для зменшення напруги з акумулятора до рівня, безпечного для мікроконтролера. Він забезпечує точний вимір напруги живлення.

MSK-12C01-07 – мікроперемикач, що дозволяє включати або вимикати пристрій вручну. Цей компонент забезпечує зручне керування роботою системи.

2.5 Висновки до розділу

Підсумовуючи, проведено розробку структурних схем, які демонструють принципи роботи радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря. На основі розробленої схеми обрано компонентну базу, яка у свою чергу була доступною, максимально функціонально та могла забезпечити виконання поставлених задач, тобто розробки радіотехнічної системи з широким функціоналом та максимальною універсальністю та доступністю.

3 РОЗРОБКА РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка електрично-принципової схеми

В результаті аналізу готової структурної схеми радіотехнічної системи та визначивши компонентну базу пристрою, наступним кроком реалізації є створення електрично-принципової схеми системи. Для виконання поставленого завдання було використано середовище для проектування електричних схем EasyEDA. Головний екран середовища з частиною схеми показана нижче на рисунку 3.1.

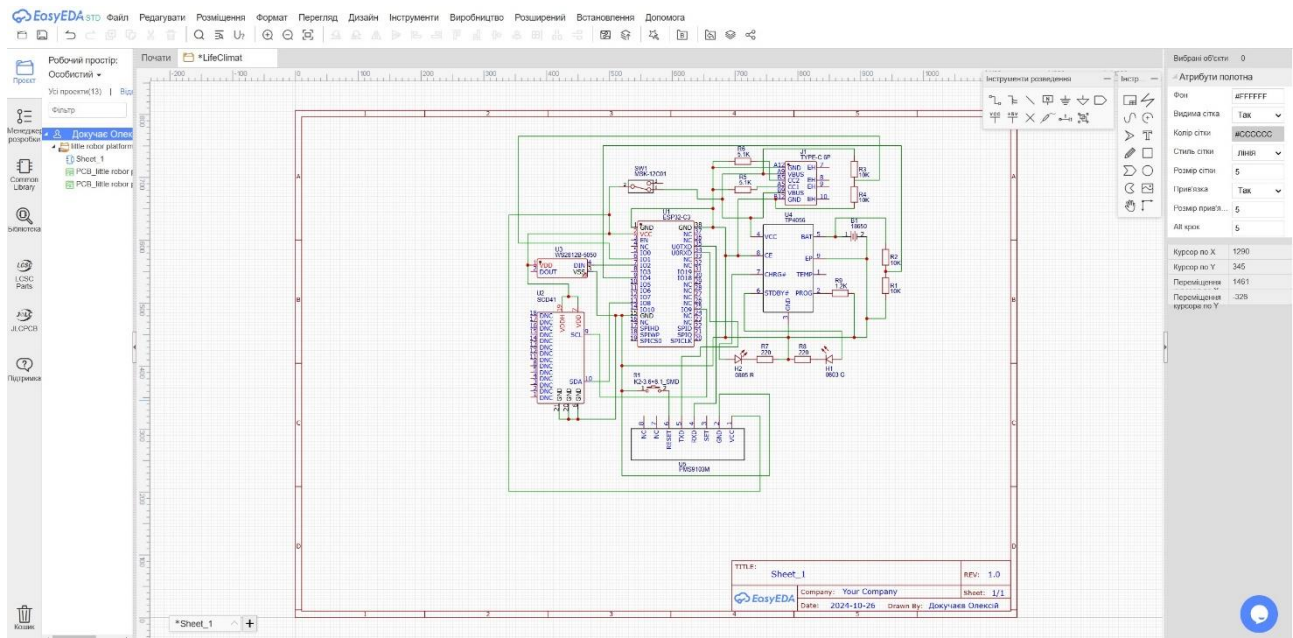


Рисунок 3.1 – Головний екран середовища EasyEDA

Середовище EasyEDA було обране для реалізації електрично-принципової схеми, тому що воно є безкоштовним онлайн-середовищем для проектування електронних схем, створення друкованих плат (PCB) та симуляції електричних схем [27]. Воно є однією з найпопулярніших програм серед інженерів, студентів і хобістів, які працюють з електронними проектами, оскільки забезпечує всі основні інструменти для проектування електронних пристроїв, незалежно від

складності. EasyEDA доступна як у веб-версії, так і у вигляді десктопних додатків для Windows, macOS і Linux, що дозволяє працювати як в онлайн, так і в офлайн-режимах.

Основними функціями програми EasyEDA є:

1. Редактор схем. EasyEDA забезпечує простий і зручний інтерфейс для створення електронних схем. У редакторі доступні тисячі компонентів, серед яких транзистори, мікросхеми, резистори, конденсатори, діоди та багато інших. Компоненти можна легко додавати на схему, з'єднувати дротами, переміщувати та видаляти. Основні можливості редактора схем:

Бібліотека компонентів: містить як загальнодоступні, так і специфічні компоненти від виробників, таких як Texas Instruments, Analog Devices, NXP та інших.

Розширені параметри компонентів: кожен компонент має властивості, які можна налаштувати, наприклад, значення опору, індуктивності або ємності, специфічні параметри для мікросхем і т. д.

Електричні правила перевірки (ERC): дозволяє перевіряти правильність підключення компонентів, що мінімізує ризик виникнення помилок при проектуванні.

Спільний доступ: можливість спільної роботи над проектами з іншими користувачами та доступ до спільних бібліотек.

2. Редактор друкованих плат. EasyEDA має потужний редактор для створення друкованих плат, який включає:

Інструменти трасування: дозволяють створювати траси для електричних зв'язків між компонентами.

Шари плати: підтримка багатошарових плат, що дозволяє створювати складні плати з кількома шарами з'єднань.

Розширені правила проектування (DRC): перевірка на порушення правил проектування, таких як мінімальна ширина доріжок, відстань між доріжками, ширина доріжок для різних класів сигналів тощо [28].

Автоматичне трасування: EasyEDA пропонує функцію автоматичного трасування, яка прокладає траси між компонентами, спрощуючи процес проектування. Вона особливо корисна для початківців, але може бути налаштована для більш детального контролю.

3. Бібліотека компонентів. EasyEDA пропонує багату бібліотеку компонентів, яку можна шукати за назвою, категорією або параметрами. Ця бібліотека містить компоненти з SPICE-моделями для симуляції.

Компоненти від відомих виробників: такі як Microchip, Texas Instruments, STMicroelectronics, що робить EasyEDA сумісним з реальними продуктами.

Спільнота користувачів: можливість завантажувати й використовувати бібліотеки, створені іншими користувачами.

4. Симуляція схем. EasyEDA підтримує симуляцію схем, що дозволяє аналізувати роботу схеми до створення друкованої плати. Симуляція включає:

DC і AC аналіз: аналіз постійного і змінного струму для розуміння характеристик схеми.

Транз'єнтний (тимчасовий) аналіз: дає змогу бачити зміни в часі.

Підтримка SPICE-моделей: EasyEDA підтримує симуляцію з використанням стандартних SPICE-моделей, що дозволяє тестувати компоненти і їхні параметри.

5. Інтеграція з JLCPCB. EasyEDA інтегрована з JLCPCB — одним з найбільших виробників друкованих плат. Завдяки цьому користувачі можуть:

Замовити виготовлення плати: після завершення проекту можна одразу завантажити файл для замовлення плати на JLCPCB, що зменшує кількість кроків для запуску виробництва.

Швидка доставка: JLCPCB пропонує недорогі та швидкі послуги з виготовлення плат, що дозволяє розробникам отримати готовий продукт у короткий термін.

Перегляд проекту у 3D: EasyEDA надає можливість перегляду плати у 3D, що дозволяє оцінити вигляд і компоновку плати до її виготовлення.

6. Формати файлів та імпорт/експорт. EasyEDA підтримує широкий діапазон форматів для експорту та імпорту, що робить її сумісною з іншими CAD-програмами. Це дозволяє:

- 1) Імпортувати файли з таких програм, як Altium, Eagle, Kicad.
- 2) Експортувати у Gerber-файли для виготовлення плат.
- 3) Імпорт/експорт у формати бібліотек для компонентів, що спрощує використання вже існуючих розробок.

7. Спільнота та ресурси. EasyEDA має велику спільноту користувачів, які створюють і діляться проектами, бібліотеками компонентів та інструкціями. На офіційному сайті EasyEDA доступні численні приклади, навчальні посібники, відео-інструкції, що робить її чудовим інструментом для початківців і досвідчених інженерів. Важливою особливістю є доступність до проектів інших користувачів, що дозволяє розширити базу знань і знайти ідеї для власних проектів [29].

Перевагами використання середовища EasyEDA є:

- 1) Безкоштовний доступ: EasyEDA безкоштовна для використання, що робить її доступною для всіх, незалежно від фінансових можливостей.
- 2) Простота у використанні: інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє швидко освоїти основи навіть початківцям.
- 3) Онлайн і офлайн режим: користувачі можуть працювати з проектами в браузері або за допомогою десктопного додатка.
- 4) Інтеграція з виробником плат: полегшує процес замовлення друкованих плат, зменшуючи час від проектування до виробництва.
- 5) Розширена бібліотека компонентів і симуляція: дозволяють створювати реалістичні електронні моделі і тестувати їх безпосередньо в програмі.

Отже, використовуючи дане програмне забезпечення було досягнуто реалізації електрично-принципової схеми радіотехнічної системи аналізу та забезпечення контролю якості повітря. Готовий результат реалізованої схеми представлений на рисунку 3.2.

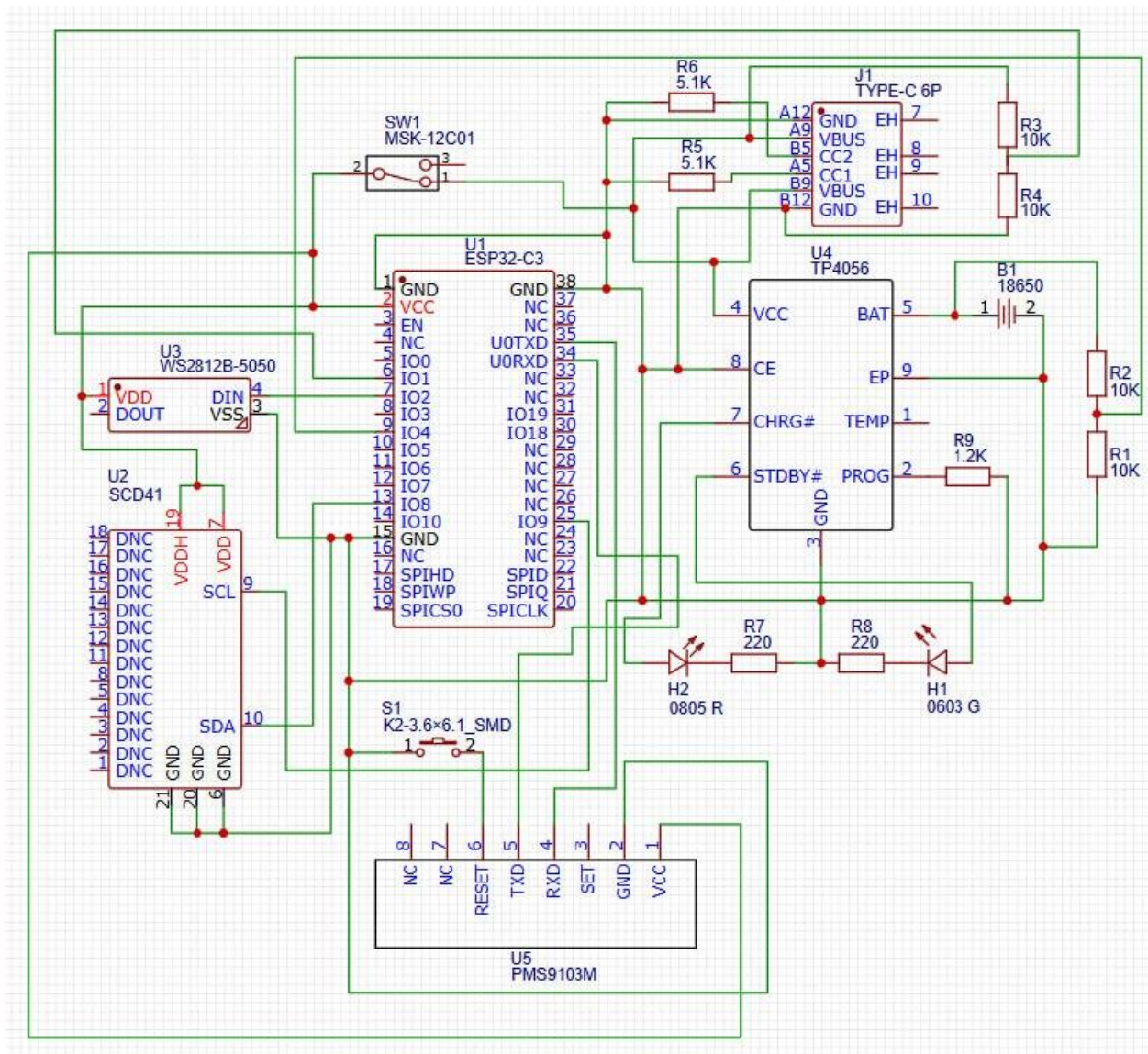


Рисунок 3.2 – Схема електрично-принципова радіотехнічної системи

3.1.1 Опис електрично-принципової схеми радіотехнічної системи

Побудована схема є електронним модулем, що базується на мікроконтролері ESP32-C3 і включає в себе кілька сенсорів, індикаторів, а також систему зарядки і живлення. Далі наведено детальний опис використаних елементів та їх підключення між собою на цій схемі.

1) ESP32-C3 (U1) - Основний мікроконтролер, який здійснює обробку даних і зв'язок із периферійними компонентами. GPIO піни ESP32-C3 підключені до датчиків, світлодіодів та дільника напруги для моніторингу заряду батареї.

2) TP4056 (U4) - Модуль для зарядки літій-іонного акумулятора. Вхід живлення (VCC) підключений до 5V через роз'єм Type-C (J1). BAT+ і BAT- підключені до літій-іонного акумулятора B1. Контакти CHRG# та STDBY# підключені до резисторів R7 і R8 зі світлодіодами H2 і H1, які індикують статус зарядки (зарядка та повний заряд відповідно).

3) Type-C роз'єм (J1) - Роз'єм для підключення живлення до модуля TP4056. Контакти VBUS (живлення) підключені до входу TP4056, а GND - до загальної землі схеми. Контакти CC1 та CC2 підключені через резистори R5 і R6 до землі, щоб ідентифікувати пристрій як джерело живлення.

4) Акумулятор (B1) - Літій-іонний акумулятор підключений до TP4056 для зарядки. Забезпечує живлення для всієї схеми.

5) Дільник напруги - Резистори R1 і R2 утворюють дільник напруги для вимірювання напруги акумулятора. Вихід з дільника підключений до аналогового входу ESP32-C3, що дозволяє вимірювати рівень напруги на акумуляторі для моніторингу заряду.

6) Світлодіоди (H1 та H2) - H1 та H2 є світлодіодами, які сигналізують про стан зарядки батареї:

H1 - зелений світлодіод, індикує завершення зарядки.

H2 - червоний світлодіод, індикує процес зарядки.

Світлодіоди підключені через резистори R7 та R8 до виходів STDBY# та CHRG# модуля TP4056.

7) SCD41 (U2) - Сенсор для вимірювання рівня CO₂, температури та вологості. Підключений до I2C-шини ESP32-C3: SCL (GPIO10) і SDA (GPIO9). Використовує живлення VDD для живлення.

8) WS2812B (U3) - Світлодіодний індикатор на базі адресованих світлодіодів. Підключений до GPIO2 для керування ESP32-C3. Використовується для візуальної індикації або стану пристрою.

9) PMS9103M (U5) - Сенсор для вимірювання якості повітря (PM2.5 та PM10). Підключений до ESP32-C3 через послідовний інтерфейс UART (RX і TX). Подача живлення від VCC, а GND з'єднаний із загальною землею.

10) Тактова кнопка (SW1) - Підключена до GPIO12, служить для виконання певних дій або скидання пристрою за допомогою фізичного натискання. Працює в режимі pull-down, тому один контакт підключений до землі, а інший — до GPIO через підтягувач до високого рівня.

3.1.2 Призначення схеми

Розроблена електрична схема дозволяє зчитувати та обробляти такий перелік параметрів, як:

- 1) Показники CO₂, температури та вологості з датчика SCD41.
- 2) Рівні якості повітря (PM2.5 та PM10) з датчика PMS9103M.
- 3) Напругу акумулятора за допомогою дільника напруги для моніторингу заряду.
- 4) ESP32-C3 обробляє зчитані дані та може передавати їх, наприклад, через MQTT на сервер для моніторингу. Світлодіоди показують стан зарядки акумулятора, а WS2812B може використовуватися для додаткової індикації або сигналізації.

3.1.3 Основні функції

До основних функцій побудованої електрично-принципової схеми радіотехнічної системи аналізу та забезпечення контролю якості повітря можна віднести:

- 1) Моніторинг та зарядка акумулятора - Використовується TP4056 для зарядки акумулятора від USB Type-C роз'єму. Дільник напруги дозволяє ESP32-C3 моніторити рівень заряду акумулятора, а світлодіоди H1 та H2 вказують на процес зарядки та повний заряд.
- 2) Зчитування даних з сенсорів - SCD41 для моніторингу рівня CO₂, температури та вологості повітря. PMS9103M для зчитування значень PM2.5 та PM10, що визначають якість повітря.

3) Індикація - Світлодіоди H1 і H2 інформують про статус зарядки. Світлодіод WS2812B може використовуватися для додаткової індикації, наприклад, стану пристрою чи режиму роботи.

Ця схема забезпечує автономну роботу з можливістю зарядки від зовнішнього джерела живлення через USB Type-C. ESP32-C3 контролює процес зчитування та обробки даних з сенсорів, а також може передавати отримані результати через бездротове з'єднання.

3.2 Конструкторське проектування радіотехнічної системи

3.2.1 Розробка корпусу

Враховуючи використану елементну базу та розробивши електрично-принципову схему, наступним кроком є розробка корпусу радіотехнічної системи, який б враховував розміри обраних компонентів, а також щоб він був комфортним та практичним у використанні. Для цього завдання було обране програмне забезпечення для тривимірного моделювання SolidWorks. Вигляд програми з розробленим корпусом представлено на рисунку 3.3.

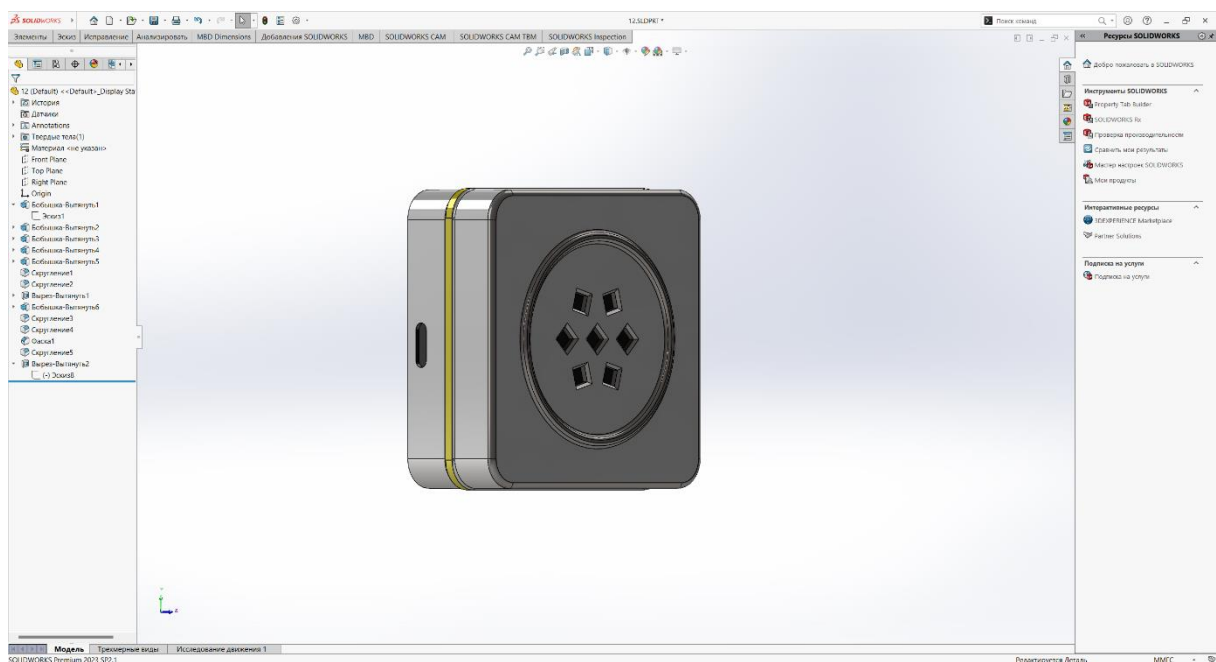


Рисунок 3.3 – Вигляд програми з розробленим корпусом

Дане програмне забезпечення було обрано, оскільки SolidWorks — це потужне програмне забезпечення для автоматизованого проектування (CAD), розроблене компанією Dassault Systèmes. Його основне призначення полягає в створенні тривимірних моделей, креслень та симуляцій, які використовуються в різних галузях промисловості, зокрема в машинобудуванні, автомобілебудуванні, авіакосмічній сфері та виробництві споживчих товарів. Програма дозволяє інженерам і конструкторам працювати над розробкою деталей і вузлів з високою точністю, скорочуючи час на розробку і тестування.

SolidWorks надає користувачам інструменти для моделювання геометричних об'єктів у тривимірному просторі. З його допомогою можна створювати як окремі деталі, так і складні збірки, що включають сотні або тисячі компонентів. Крім цього, програма дозволяє автоматично створювати технічну документацію, включно з кресленнями, специфікаціями та схемами. Завдяки вбудованим функціям аналізу, SolidWorks може моделювати фізичну поведінку виробу, як-от механічні навантаження, теплові процеси або рух механізмів, що значно полегшує проектування [30].

Особливою перевагою SolidWorks є його інтуїтивний інтерфейс і можливість інтеграції з іншими інженерними програмами та обладнанням. Це робить його доступним для широкого кола спеціалістів, незалежно від рівня досвіду. Програма підтримує параметричне моделювання, що дозволяє швидко вносити зміни в проект, зберігаючи узгодженість між деталями й збірками. Завдяки цьому компанії можуть швидше адаптувати свої продукти до змін на ринку.

Крім того, SolidWorks пропонує широкий спектр додаткових модулів для різних потреб. Наприклад, є інструменти для роботи з електронними схемами, симуляції руху рідин і навіть створення фотореалістичних зображень. Це робить програму універсальним рішенням для підприємств, які хочуть підвищити ефективність свого проектування і виробництва.

Враховуючи вище сказане, використовуючи обране програмне забезпечення SolidWorks, корпус радіотехнічної системи аналізу та забезпечення

якості повітря в приміщенні був розроблений з урахуванням специфіки роботи пристрою, ергономіки та вимог до зручності використання [31]. Кінцевий результат вигляду корпусу радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні розробленого у програмі SolidWorks продемонстровано нижче на рисунку 3.4.

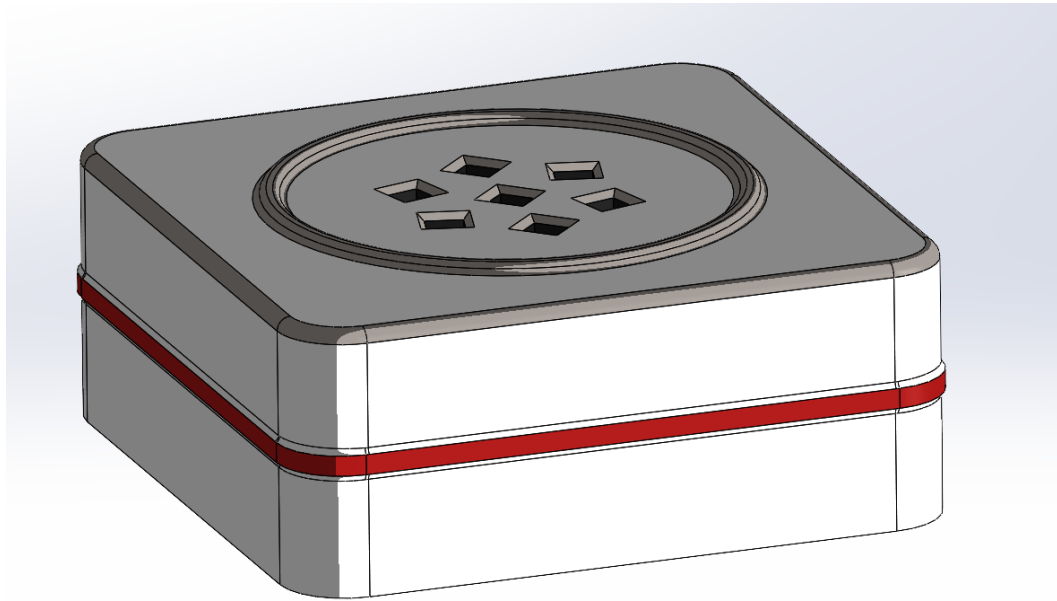


Рисунок 3.4 – Корпус радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні

Корпус виконаний у компактному дизайні з плавними заокругленими кутами, що підвищує його міцність і естетичність. Верхня панель має отвори спеціальної форми для інтеграції вентилятора, який забезпечує засмоктування повітря для аналізу рівня забрудненості.

На першій стороні корпусу, яка показана на рисунку 3.5, розташований роз'єм Type-C для зарядки пристрою, що дозволяє зручно використовувати сучасні стандарти живлення. На протилежній стороні, яка представлена на рисунку 3.6, передбачено отвори для видування очищеного повітря, а також функціональну кнопку управління. Кнопка виконує кілька функцій:

- 1) Вкл/викл пристрій при короткому натисканні.
- 2) Пошук доступних пристроїв при подвійному натисканні.
- 3) Режим утримання для інших налаштувань.

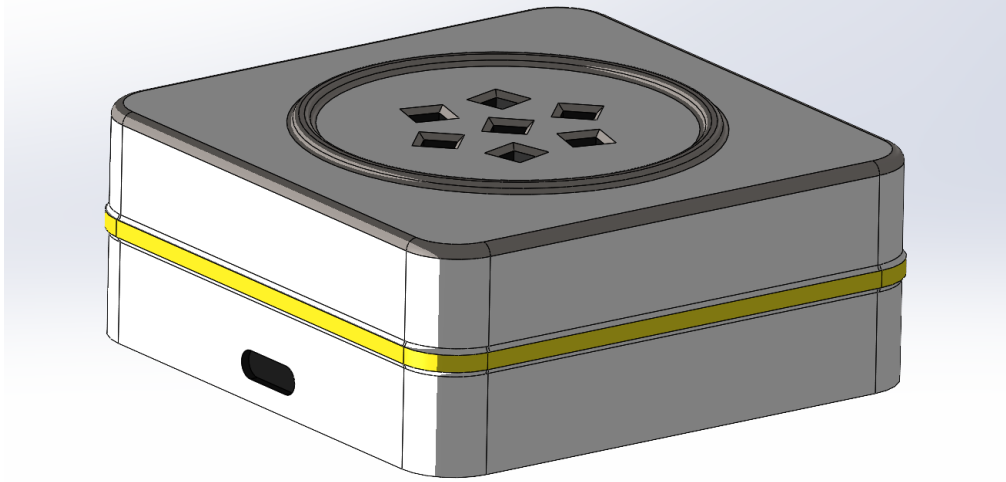


Рисунок 3.5 – Корпус радіотехнічної системи ззаду в середовищі SolidWorks

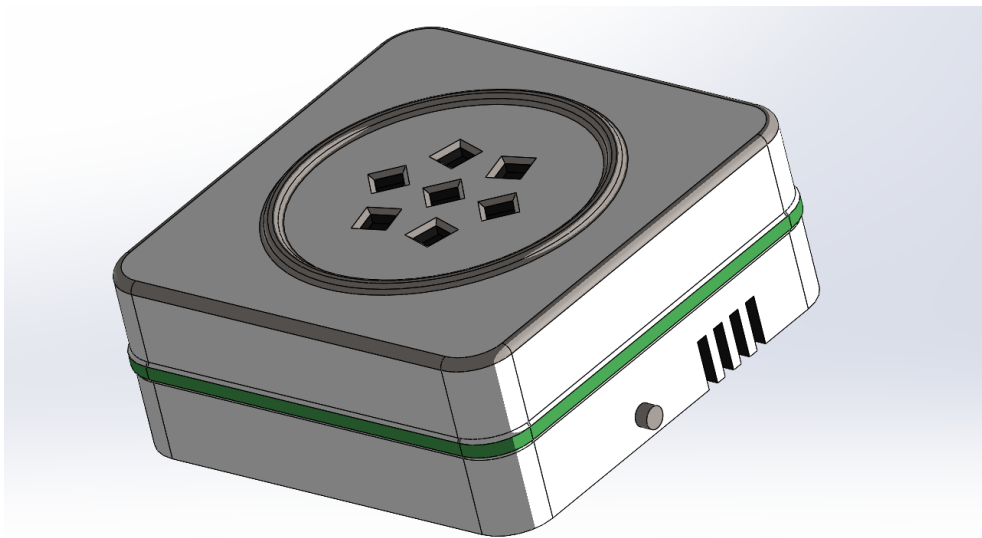


Рисунок 3.6 - Корпус радіотехнічної системи спереду в середовищі SolidWorks

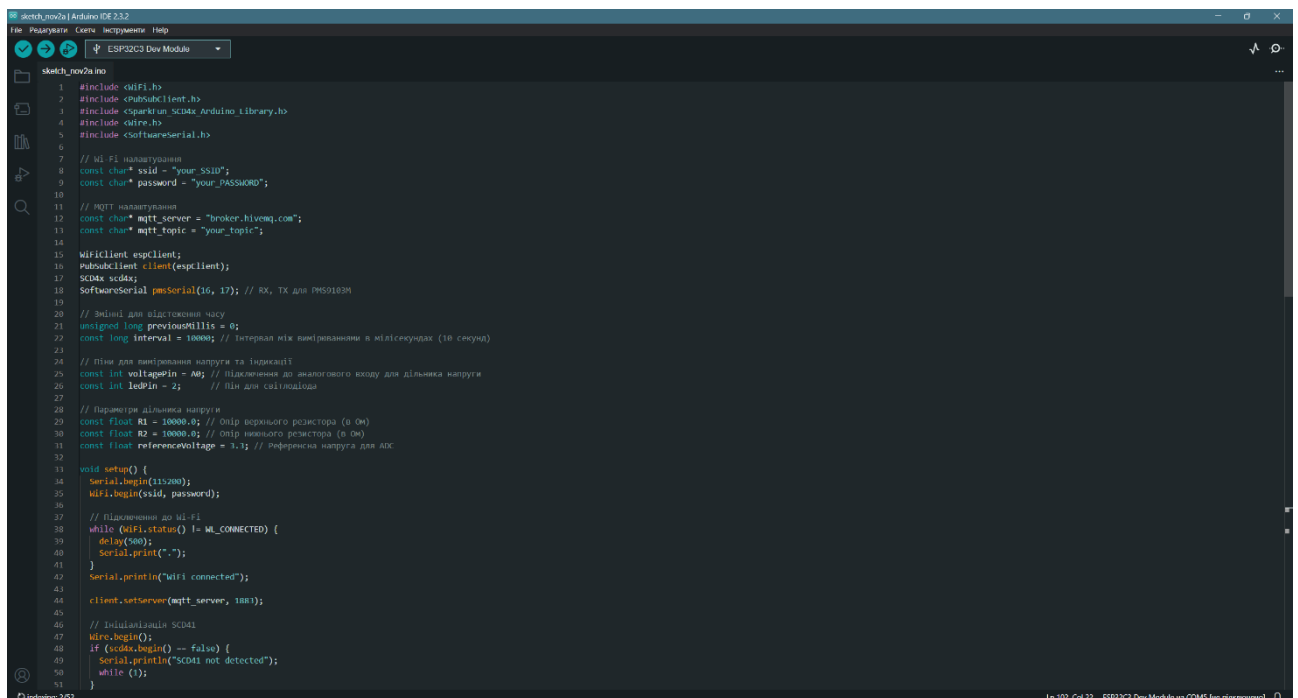
Центральна смужка корпусу є світлодіодним індикатором, що забезпечує візуальну інформацію про стан забрудненості повітря за допомогою оптоволоконного світловоду:

- 1) Червоний колір сигналізує про високий рівень забруднення.
- 2) Жовтий колір вказує на середній рівень.
- 3) Зелений колір означає чисте повітря.

Корпус має міцну конструкцію з оптимальною вентиляцією для ефективного функціонування системи. Такий дизайн забезпечує надійність роботи, а також підвищує ергономіку пристрою, що робить його зручним для використання в повсякденному житті. Як виглядає корпус в програмі для слайсингу моделі для 3Д принтера продемонстровано на рисунку 8, додатка А.

3.2.2 Розробка програмного забезпечення

Завершивши розробку апаратної частини, для забезпечення повного функціоналу радіотехнічної системи і її коректної роботи, наступним кроком є написання програмного коду. Для розробки коду було використано програмне середовище Arduino IDE. Частина розробленого коду у середовищі Arduino IDE наведено на рисунку 3.7.



```

1 #include <WiFi.h>
2 #include <PubSubClient.h>
3 #include <SparkFun_SCD41_Arduino_Library.h>
4 #include <Wire.h>
5 #include <SoftwareSerial.h>
6
7 // Wi-Fi налаштування
8 const char* ssid = "your-SSID";
9 const char* password = "your-PASSWORD";
10
11 // MQTT налаштування
12 const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";
13 const char* mqtt_topic = "your-topic";
14
15 WiFiClient espClient;
16 PubSubClient client(espClient);
17 SCD41 scd41;
18 SoftwareSerial pmsSerial(16, 17); // RX, TX для PMS013PM
19
20 // Змінні для відстеження часу
21 unsigned long previousMillis = 0;
22 const long interval = 10000; // Інтервал між виконаннями в мілісекундах (10 секунд)
23
24 // Пини для вимірювання напруги та індикації
25 const int voltagePin = A0; // Підключення до аналогового входу для вимірювання напруги
26 const int ledPin = 2; // Пин для світлодіода
27
28 // Параметри дільника напруги
29 const float R1 = 10000.0; // Опір верхнього резистора (в Ом)
30 const float R2 = 10000.0; // Опір нижнього резистора (в Ом)
31 const float referenceVoltage = 3.3; // Референсна напруга для ADC
32
33 void setup() {
34   Serial.begin(115200);
35   WiFi.begin(ssid, password);
36
37   // Підключення до Wi-Fi
38   while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
39     delay(500);
40     Serial.print(".");
41   }
42   Serial.println("WiFi connected");
43
44   client.setServer(mqtt_server, 1883);
45
46   // Ініціалізація SCD41
47   Wire.begin();
48   if (scd41.begin() == false) {
49     Serial.println("SCD41 not detected");
50     while (1);
51   }
52 }

```

Рисунок 3.7 – Частина розробленого коду у середовищі Arduino IDE

Середовище для розробки програмного коду Arduino IDE було обрано, оскільки воно надає інструменти для написання, компіляції та завантаження програмного коду для мікроконтролерів сімейства Arduino, таких як Arduino Uno, Mega, Nano, ESP32 та інші. Вона є безкоштовною, з відкритим вихідним кодом і призначена для програмування мікроконтролерів з використанням мови, яка базується на C/C++. Завдяки зручному інтерфейсу та великій кількості бібліотек, Arduino IDE дозволяє швидко створювати різноманітні проекти, від простих схем керування світлодіодами до складних інтеграцій з сенсорами, двигунами, модулями зв'язку та іншими пристроями [32].

Основними компонентами програмного середовища Arduino IDE є:

1. Графічний інтерфейс. Інтерфейс Arduino IDE спроектований таким чином, щоб спростити доступ до інструментів, необхідних для роботи з мікроконтролерами:

Текстовий редактор — основне поле, де пишеться код (скетч). Він підтримує підсвітку синтаксису, що робить код легшим для читання та редагування.

Кнопки швидкого доступу:

Verify (Перевірка) — компілює код без завантаження його на плату, дозволяючи виявити помилки на етапі написання.

Upload (Завантаження) — компілює і завантажує код на підключену плату Arduino.

New (Новий скетч), Open (Відкрити) та Save (Зберегти) — керування файлами скетчів.

Serial Monitor (Серійний монітор) — вікно для взаємодії з платою через серійний порт, що дозволяє відображати дані, надсилати команди тощо.

2. Меню налаштувань. Arduino IDE має декілька важливих меню:

File (Файл) дозволяє створювати, відкривати і зберігати проекти, а також друкувати скетчі.

Edit (Редагування) надає основні функції редагування, як-от копіювання, вставка, знаходження і заміна тексту.

Sketch (Скетч) дозволяє компілювати, імпортувати бібліотеки, автоматично формувати код.

Tools (Інструменти) надає доступ до важливих налаштувань, включаючи вибір плати та порту для завантаження скетчу, оновлення завантажувача, виклик серійного монітора.

Help (Довідка) містить посилання на документацію, форуми та інші ресурси підтримки.

3. Скетчі. У Arduino середовище програми називаються скетчами. Це код, написаний користувачем, який буде виконуватися на платі Arduino. Скетчі в Arduino IDE мають два основні розділи:

`setup()` — функція, яка виконується один раз після запуску або перезапуску плати. Тут зазвичай налаштовують початкові параметри, наприклад, встановлюють пін як вихідний або вхідний.

`Loop()` — функція, яка виконується постійно, доки плата увімкнена. В цьому розділі відбувається основна логіка програми.

4. Мова програмування. Arduino IDE використовує мову, засновану на C і C++, з кількома додатковими функціями для взаємодії з апаратним забезпеченням. Деякі з основних конструкцій та функцій Arduino включають:

`digitalWrite()` і `digitalRead()` для роботи з цифровими виводами.

`analogWrite()` для виходу аналогового сигналу (здійснюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції).

`analogRead()` для зчитування аналогових значень з входів.

`Delay()` для створення затримок у виконанні програми.

`Serial.begin()`, `Serial.print()` та `Serial.read()` для роботи з серійним інтерфейсом.

Після написання та перевірки скетчу, його можна завантажити на мікроконтролер. Процес завантаження включає наступні етапи:

Компіляція: Коли ви натискаєте кнопку «Verify» або «Upload», Arduino IDE компілює скетч, перетворюючи його у машинний код, який може виконувати мікроконтролер.

Завантаження: Після успішної компіляції, якщо натиснута кнопка «Upload», компілятор створює виконуваний файл, який завантажується на мікроконтролер через USB-з'єднання.

Верифікація: Arduino IDE перевіряє, чи файл успішно завантажений, і пристрій готовий до виконання нового коду [33].

Серійний монітор дозволяє взаємодіяти з платою у реальному часі. Він використовується для налагодження та тестування коду, надаючи можливість виводити дані на екран, відслідковувати значення змінних, отримувати відповіді від сенсорів та надсилати команди на плату.

Серійний монітор надзвичайно корисний, оскільки дозволяє аналізувати дані в режимі реального часу і є важливим інструментом для діагностики та налаштування.

Arduino IDE підтримує величезну кількість бібліотек — готових наборів функцій, створених для спрощення програмування певних компонентів, як-от сенсори, дисплеї, модулі зв'язку тощо. Завдяки бібліотекам можна швидко підключити сенсори або інші компоненти, значно зменшивши об'єм коду. Наприклад, бібліотека `Adafruit_NeoPixel` дозволяє легко керувати RGB-світлодіодами, а `ESP8266WiFi` та `WiFi` — підключатись до Wi-Fi для віддаленого керування.

Arduino IDE підтримує додаткові плагіни та інструменти для розширення можливостей програмного забезпечення. Наприклад, існують плагіни для роботи з такими мікроконтролерами, як ESP32 або STM32. Завдяки цьому користувачі можуть розробляти проекти не тільки для Arduino, але й для ширшого кола мікроконтролерів.

Arduino IDE має велику спільноту, що створює доступні онлайн-ресурси, форуми, курси та бібліотеки. Офіційний сайт Arduino містить велику кількість прикладів, документації та інструкцій для початківців та досвідчених користувачів. Величезна кількість проектів з відкритим вихідним кодом також є доступною на GitHub та інших платформах, де користувачі діляться своїм кодом, схемами та ідеями.

Використавши можливий функціонал програмного середовища Arduino IDE, було виконано написання програмного коду для радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря. Лістинг коду містить окремі елементи, певні блоки, опис яких наведено нижче.

Перший блок відповідає за підключення необхідних бібліотек для роботи з Wi-Fi, MQTT, датчиком SCD41, послідовною передачею даних (SoftwareSerial) і протоколом I2C.

```
#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <SparkFun_SCD4x_Arduino_Library.h>
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>
```

У наступному блоці коду оголошуються змінні для збереження ідентифікатора мережі (SSID) та пароля Wi-Fi.

```
Const char* ssid = «your_SSID»;
const char* password = «your_PASSWORD»;
```

За ним йде блок який налаштовує сервер MQTT і задає тему для публікації повідомлень.

```
Const char* mqtt_server = «broker.hivemq.com»;
const char* mqtt_topic = «your_topic»;
```

Цей блок ініціалізує об'єкти для роботи з Wi-Fi, MQTT, датчиком SCD41 і UART-з'єднанням для датчика PMS9103M.

```
WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
SCD4x scd4x;
SoftwareSerial pmsSerial(16, 17); // RX, TX для PMS9103M
```

Далі йде блок, що визначає змінні для реалізації таймера, який відстежує інтервал між вимірюваннями.

```
Unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 10000; // Інтервал між вимірюваннями в
мілісекундах (10 секунд)
```

Наступний блок оголошує пін для зчитування напруги та пін для керування світлодіодом.

```
Const int voltagePin = A0; // Підключення до аналогового входу
для дільника напруги
const int ledPin = 2;      // Пін для світлодіода
```

Даний блок визначає параметри дільника напруги для розрахунку реальної напруги на батареї.

```
Const float R1 = 10000.0; // Опір верхнього резистора (в Ом)
const float R2 = 10000.0; // Опір нижнього резистора (в Ом)
const float referenceVoltage = 3.3; // Референсна напруга для
ADC
```

Цей блок коду налаштовує серійний порт, підключає ESP32 до Wi-Fi, ініціалізує датчики SCD41, PMS9103M і налаштовує світлодіодний пін.

```
Void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);

  // Підключення до Wi-Fi
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(«.»);
  }
  Serial.println(«WiFi connected»);

  client.setServer(mqtt_server, 1883);

  // Ініціалізація SCD41
  Wire.begin();
  if (scd4x.begin() == false) {
    Serial.println(«SCD41 not detected»);
    while (1);
  }
  scd4x.startPeriodicMeasurement();

  // Ініціалізація PMS9103M
  pmsSerial.begin(9600);

  // Ініціалізація світлодіода
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
}
```

Далі йде блок, де реалізовано відновлення з'єднання з MQTT-сервером у разі втрати підключення.

```

Void reconnect() {
  // Підключення до MQTT
  while (!client.connected()) {
    Serial.print(«Connecting to MQTT...»);
    if (client.connect(«ESP32Client»)) {
      Serial.println(«connected»);
    } else {
      Serial.print(«failed, rc=»);
      Serial.print(client.state());
      delay(2000);
    }
  }
}

```

У наступному блоці програмного коду реалізовано зчитування даних з датчика SCD41 (CO2, температура, вологість), PMS9103M (PM2.5, PM10) і передає їх через MQTT.

```

Void readSCD41Data() {
  if (scd4x.readMeasurement()) {
    if (scd4x.co2 > 0) {
      char buffer[100];
      snprintf(buffer, sizeof(buffer), «{\»CO2\»: %d,
\»Temperature\»: %.2f, \»Humidity\»: %.2f}\», scd4x.co2,
scd4x.temperature, scd4x.humidity);
      client.publish(mqtt_topic, buffer);
    } else {
      Serial.println(«Invalid reading from SCD41»);
    }
  }
}

void readPMSData() {
  if (pmsSerial.available()) {
    uint8_t buffer[32];
    pmsSerial.readBytes(buffer, 32);

    // Парсинг даних PMS9103M
    int pm2_5 = buffer[10] * 256 + buffer[11];
    int pm10 = buffer[12] * 256 + buffer[13];

    char pmsBuffer[100];
    snprintf(pmsBuffer, sizeof(pmsBuffer), «{\»PM2.5\»: %d,
\»PM10\»: %d}\», pm2_5, pm10);
    client.publish(mqtt_topic, pmsBuffer);
  }
}

```

Далі реалізовано зчитування напруги з аналогового піну та здійснюється розрахунок реальної напруги батареї з урахуванням дільника.

```
Float readVoltage() {
    int rawValue = analogRead(voltagePin);
    float voltage = rawValue * (referenceVoltage / 4095.0); //
ADC 12-бітний
    float batteryVoltage = voltage * ((R1 + R2) / R2); //
Розрахунок реальної напруги
    return batteryVoltage;
}
```

У цьому блоці здійснюється керування світлодіодом для індикації рівня заряду батареї.

```
Void updateLED(float batteryVoltage) {
    // Логіка для індикації рівня заряду на світлодіоді
    if (batteryVoltage > 3.7) {
        digitalWrite(ledPin, HIGH); // Повний заряд
    } else if (batteryVoltage > 3.4) {
        digitalWrite(ledPin, HIGH); // Середній заряд (мигаючий
режим можна додати, якщо потрібно)
    } else {
        digitalWrite(ledPin, LOW); // Низький заряд
    }
}
```

Останній блок є головним циклом для роботи пристрою, який перевіряє MQTT-з'єднання, відстежує таймер і періодично викликає функції зчитування даних, оновлення індикації та публікації в MQTT.

```
Void loop() {
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
    client.loop();

    // Перевірка, чи настав час для нового вимірювання
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis; // Оновлення часу

        // Зчитування даних із датчиків та публікація
        readSCD41Data();
        readPMSData();

        // Зчитування напруги та оновлення індикації
        float batteryVoltage = readVoltage();
    }
}
```



```

    updateLED(batteryVoltage);

    // Відправка напруги до MQTT
    char voltageBuffer[50];
    snprintf(voltageBuffer, sizeof(voltageBuffer),
«{\»BatteryVoltage\»: %.2f}\», batteryVoltage);
    client.publish(mqtt_topic, voltageBuffer);
}
}

```

Розроблений код призначений для роботи з мікроконтролером ESP32-C3, який вимірює значення з підключених датчиків, контролює рівень напруги батареї, забезпечує індикацію на світлодіоді та передає зібрані дані на MQTT-брокер. Нижче наведено детальний опис роботи коду.

1. Підключення до Wi-Fi. Код починається з підключення ESP32-C3 до мережі Wi-Fi, використовуючи SSID та пароль, зазначені в змінних ssid та password. Після успішного підключення пристрій переходить до налаштування MQTT-з'єднання.

2. Налаштування MQTT. Використовуючи бібліотеку PubSubClient, пристрій підключається до MQTT-брокера, зазначеного у змінній mqtt_server. Якщо підключення переривається, функція reconnect() повторно підключає ESP32-C3 до MQTT-брокера.

3. Ініціалізація та зчитування даних з датчиків. SCD41 (датчик CO₂, температури, вологості): Підключений через I2C і зчитується функцією readSCD41Data(). Ця функція вимірює рівень CO₂, температуру та вологість повітря.

PMS9103M (датчик якості повітря): Підключений через програмний послідовний порт (SoftwareSerial) і зчитується функцією readPMSData(). Ця функція отримує дані про PM2.5 та PM10.

Дані з обох датчиків формуються у вигляді JSON-рядків і надсилаються на MQTT-брокер через тему, визначену в mqtt_topic.

4. Вимірювання напруги акумулятора. Код використовує аналоговий вхід A0 для зчитування напруги з дільника напруги, підключеного до батареї.

Дільник напруги складається з двох резисторів R1 і R2, які знижують напругу батареї до рівня, безпечного для вимірювання мікроконтролером.

Функція `readVoltage()` виконує вимірювання напруги на вході та перераховує її у відповідну напругу батареї з урахуванням співвідношення резисторів у дільнику.

5. Індикація на світлодіоді. Функція `updateLED()` керує світлодіодом на піні `ledPin` для відображення рівня заряду батареї:

Якщо напруга вище 3.7 В, світлодіод вмикається, вказуючи на повний заряд. Якщо напруга в межах 3.4–3.7 В, світлодіод теж залишається увімкненим (для покращення індикації можна додати миготіння). Якщо напруга падає нижче 3.4 В, світлодіод вимикається, вказуючи на низький заряд батареї.

6. Циклічна робота без використання `delay()`. Код використовує функцію `millis()` для реалізації затримки між циклами зчитування даних і передачі на MQTT-брокер. Це дозволяє уникнути блокування роботи інших процесів і підтримує стабільне з'єднання з MQTT. Інтервал між вимірюваннями задається змінною `interval` (10 секунд).

7. Передача даних на MQTT. В кінці кожного циклу зчитування даних напруга батареї, рівень CO₂, температура, вологість, PM2.5 і PM10 надсилаються на MQTT-брокер у вигляді JSON-повідомлень.

Це дозволяє віддалено моніторити стан акумулятора та значення, зчитані з датчиків.

Підсумовуючи загальний опис роботи коду, його можна поділити на такі блоки:

Збір даних: ESP32-C3 зчитує дані з SCD41 (CO₂, температура, вологість) та PMS9103M (PM2.5, PM10).

Моніторинг напруги: Вимірює напругу батареї через дільник напруги і вмикає/вимикає світлодіод залежно від рівня заряду.

MQTT-передача: Всі зібрані дані (CO₂, температура, вологість, PM2.5, PM10, напруга) надсилаються на MQTT-брокер кожні 10 секунд.

Таймер на основі `millis()`: Забезпечує циклічну роботу без використання `delay()`, дозволяючи інші процеси працювати в реальному часі.

3.3 Порівняння розробленої радіотехнічної системи з аналогом

Завершивши розробку радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні, потрібно провести порівняння її з близьким за функціоналом аналогічної системи. В результаті проведеного аналізу розробленої системи та Ajax LifeQuality було отримані їх характеристики які були зведені у порівняльну таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Порівняння характеристика розробленої системи з Ajax LifeQuality

Параметр	Розроблений пристрій	Ajax LifeQuality
Вимірювані показники	CO ₂ , PM2.5, PM10, температура, вологість, напруга батареї	Температура, вологість, рівень CO ₂
Додаткові сенсори	Контроль напруги батареї, світлодіодна індикація	Немає
Тип живлення	Літій-іонний акумулятор із зарядкою через USB Type-C	Змінні батареї CR123A (заміна кожні 3 роки)
Зарядка акумулятора	TP4056 з індикацією статусу зарядки та моніторингом напруги	Батареї змінні, зарядка не передбачена
Порти підключення	USB Type-C для зарядки, UART та I2C для сенсорів	Немає зовнішніх портів
Передача даних	Можливість передавати дані через MQTT або інші протоколи	Ajax App, інтеграція з Ajax Hub
Індикація	WS2812B світлодіоди для візуальної індикації стану та індикація заряду світлодіодами	Обмежена індикація в додатку
Розширюваність	Підтримка додаткових сенсорів через GPIO	Обмежена можливостями екосистеми Ajax

Продовження таблиці 3.1 – Порівняння характеристика розробленої системи з Ajax LifeQuality

Автономність	Довготривала робота завдяки акумулятору та економному енергоспоживанню	Потребує заміни батареї кожні 3 роки
Програмована логіка	Можливість програмування та зміни логіки роботи пристрою	Фіксована логіка, залежить від Ajax Hub
Економічність	Використовує порційне споживання енергії при вимірюванні та індикації	Працює постійно, без порційної економії

Порівняння розробленої радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні з Ajax LifeQuality дозволяє продемонструвати переваги та унікальні особливості цієї системи в порівнянні з існуючим аналогом. Обидва пристрої виконують функцію аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні, однак підхід до виконання цієї задачі, функціональні можливості та зручність використання відрізняються [34].

Розроблений пристрій має значно більше сенсорів, зокрема для моніторингу PM2.5 і PM10, що дозволяє детально оцінювати якість повітря, зокрема забруднення мікрочастинками, що особливо важливо в міських умовах. Наявність можливості вимірювання напруги акумулятора та індикація на світлодіодах дозволяє більш гнучко контролювати енергоспоживання та своєчасно попереджати про необхідність зарядки.

Завдяки вбудованому модулю TP4056 з можливістю підзарядки через USB Type-C розроблений пристрій є більш зручним для довготривалого використання. Потреби у заміні батарей немає, що робить його більш екологічним та економічно вигідним у порівнянні з Ajax LifeQuality, який вимагає періодичної заміни батарей.

Розроблений пристрій може передавати дані через MQTT, що дозволяє легко інтегрувати його в різні системи IoT або сервери, незалежно від специфічного додатку.

Ajax LifeQuality залежить від екосистеми Ajax та передачі даних через Ajax Hub, що обмежує можливість інтеграції з іншими платформами без додаткових налаштувань.

Розроблений пристрій має повноцінну світлодіодну індикацію за допомогою WS2812B та інших світлодіодів, що надає візуальний зворотний зв'язок безпосередньо на пристрої, інформуючи користувача про статус та рівень заряду батареї.

У Ajax LifeQuality індикація обмежена тільки відображенням у додатку, що не завжди зручно, особливо якщо доступ до смартфона чи Ajax Hub обмежений [35].

Завдяки можливостям ESP32-C3, розроблений пристрій легко програмується та може бути налаштований під специфічні завдання. Це дозволяє додавати нові функції та налаштовувати логіку роботи залежно від потреб.

Ajax LifeQuality не підтримує подальшого налаштування та працює виключно в рамках заданої логіки в екосистемі Ajax.

Розроблений пристрій використовує порційний режим вимірювання, що значно знижує споживання енергії, продовжуючи час роботи від одного заряду акумулятора.

Ajax LifeQuality працює безперервно, що призводить до швидшого витрачання батарей без порційної економії, і потребує заміни батарей кожні 3 роки.

3.4 Висновки до розділу

Розроблений пристрій має значно розширені функціональні можливості, вищу енергоефективність та гнучкість у налаштуванні порівняно з Ajax LifeQuality. Завдяки можливості програмування, підзарядці через USB Type-C та інтеграції з MQTT, він може використовуватися в ширшому спектрі застосувань і не залежить від конкретної екосистеми. Це робить його привабливим вибором,

оскільки він має з більшу автономність, та має можливість розширення та точний моніторингом якості повітря.

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 аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні» 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 [36].

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	5	4	5
2. Ринкові переваги (наявність аналогів)	4	3	4
3. Ринкові переваги (ціна продукту)	2	2	3
4. Ринкові переваги (технічні властивості)	4	4	3
5. Ринкові переваги (експлуатаційні витрати)	3	3	3
6. Ринкові перспективи (розмір ринку)	2	2	2
7. Ринкові перспективи (конкуренція)	3	3	3
8. Практична здійсненність (наявність фахівців)	4	4	4
9. Практична здійсненність (наявність фінансів)	2	3	2
10. Практична здійсненність (необхідність нових матеріалів)	2	2	2

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

11. Практична здійсненність (термін реалізації)	3	4	4
12. Практична здійсненність (розробка документів)	4	4	4
Сума балів	38	38	39
Середньоарифметична сума балів CB_c	38,3		

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 [36].

Згідно проведених досліджень рівень комерційного потенціалу розробки за темою «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні» становить 38,3 бала, що, відповідно до [36], 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 [37].

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

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 вимірювання	Аналог	Проектований продукт	Відношення параметрів нової розробки до аналога	Питома вага показника
Концентрація CO	ppm	400–5000	350–5000	1,1	0,1
Концентрація PM2.5	µг/м	0-300	0–600	2	0,4
Точність сенсорів	%	5	3	1,5	0,3
Автономність	рік	2	10	5	0,1
Діапазон температур	-	0...50	-10...60	1,5	0,1

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

$$B_n = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot \beta_i = 1,1 \cdot 0,1 + 2 \cdot 0,4 + 1,5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,1 = 2,01.$$

Отже за технічними параметрами, згідно узагальненого коефіцієнту якості розробки, науково-технічна розробка переважає існуючі аналоги приблизно в 2,01 рази.

4.3 Розрахунок витрат на проведення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні», 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 (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою 4.2 [36].

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

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, $T_p=23$ дні.

$$Z_o = 18500,00 \cdot 7 / 23 = 5630,43 \text{ (грн.)}.$$

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 (менеджер-координатор)	18500,00	804,35	7	5630,43
Інженер-розробник радіовимірювальних пристроїв	18000,00	782,61	23	18000,00
Інженер-метролог 1-ї категорії	18100,00	786,96	10	7869,57
Лаборант	8000,00	347,83	12	4173,91
Всього				35673,91

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні» 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 (табл. Б.2, додаток Б) [36];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 23$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (23 \cdot 8) = 55,00 \text{ (грн.)}$$

$$Z_{p1} = 55,00 \cdot 7,20 = 396,00 \text{ (грн.)}$$

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	7,20	2	1,10	55,00	396,00

Продовження таблиці 4.4 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Встановлення програмного забезпечення	5,30	4	1,50	75,00	397,50
Встановлення блоків реєстрації параметрів якості повітря	6,45	4	1,50	75,00	483,75
Монтаж блоків системи передачі даних	4,50	5	1,70	85,00	382,50
Формування бази даних результатів вимірювань	18,00	3	1,35	67,50	1215,00
Підготовка лабораторії	12,30	3	1,35	67,50	830,25
Налагодження системи	10,00	6	2,00	100,00	1000,00
Тренування системи	22,00	2	1,10	55,00	1210,00
Всього					5915,00

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.

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

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

$$Z_{\text{дод}} = (35673,91 + 5915,00) \cdot 10 / 100\% = 4158,89 \text{ (грн.)}.$$

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.

$$З_n = (З_o + З_p + З_{одд}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.6)$$

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

$$З_n = (35673,91 + 5915,00 + 4158,89) \cdot 22 / 100\% = 10064,52 \text{ (грн.)}$$

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.).

$$M_1 = 3 \cdot 202,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 666,60 \text{ (грн.)}$$

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.)
Папір	202,00	3	0	0	666,60
Диск оптичний	27,00	4	0	0	118,80
Канцелярське приладдя	180,00	4	0	0	792,00
Тека паперова	75,00	3	0	0	247,50

Продовження таблиці 4.5 – Витрати на матеріали

Тонер Canon 12X	5870,00	0	0	0	161,43
Флеш-пам'ять 32 Gb	165,00	2	0	0	363,00
Флюс ФКСН	150,00	0,010	0	0	1,65
Каніфоль	186,00	0,020	0	0	4,09
Припій ПОС-61	720,00	0,010	0	0	7,92
Склотекстоліт фольгований односторонній	220,00	0,010	0	0	2,42
Хлорне залізо	176,00	0,150	0	0	29,04
Провод монтажний	365,00	0,014	0	0	5,62
Спирт технічний	156,00	0,100	0	0	17,16
Клей	395,00	0,180	0	0	78,21
Всього					2495,44

4.3.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні», 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, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_e = 1 \cdot 850,00 \cdot 1,1 = 935,00 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн.)	Сума, (грн.)
SCD41 – сенсор для вимірювання температури, вологості, тиску та летких органічних сполук (VOC)	1	850,00	935,00
PM2008 – лазерний датчик для визначення концентрації дрібнодисперсних часток (PM2.5 та PM10)	1	650,00	715,00
ESP32-C3 – мікроконтролер з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth для обробки даних і зв'язку з іншими пристроями	1	1100,00	1210,00
OLED-дисплей SSD1306 – екран для відображення даних про якість повітря в реальному часі	1	240,00	264,00
Акумулятор 18650 – для забезпечення автономної роботи пристрою	1	340,00	374,00
DC-DC конвертер (LM2596) – для стабілізації напруги живлення	1	64,00	70,40
MQ135 – сенсор для визначення концентрації CO у повітрі	1	125,00	137,50
Резистори та конденсатори – для стабілізації сигналів та підключення сенсорів	20	10,20	224,40
Роз'єми JST – для підключення сенсорів і живлення	10	15,00	165,00
PCB (друкована плата) – основа для монтажу компонентів пристрою	1	78,00	85,80
Всього			4181,10

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.

$$B_{\text{спец}} = 28930,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 31823,00 \text{ (грн.)}.$$

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.)
Вимірювач концентрації летких речовин лабораторний	1	28930,00	31823,00
Програматор мікроконтролерний	1	8400,00	9240,00
Осцилограф HANTEK DSO2C15 150МГц	1	16565,00	18221,50
Паяльна станція SEQUIRE MSS12 Pro Intelligent	1	2850,00	3135,00
Смартфон Xiaomi Redmi A3 3/64Gb Forest Green	1	3499,00	3848,90
Всього			66268,40

4.3.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою 4.10.

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{инрг}} \cdot C_{\text{прог.і}} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

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

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

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

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прз}} = 8155,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 8970,50 \text{ (грн.)}.$$

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.)
EASY IDEA – для проектування електричних схем та друкованих плат	1	8155,00	8970,50
Arduino IDE – для написання кода пристроя	1	2810,00	3091,00
Прикладний пакет моделювання процесів MatLab	1	9065,00	9971,50
Всього			22033,00

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.

$$A_{\text{обл}} = \frac{C_{\text{б}}}{T_{\text{г}}} \cdot \frac{t_{\text{вик}}}{12}, \quad (4.11)$$

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

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

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

$$A_{\text{обл}} = (8350,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 231,94 \text{ (грн.)}.$$

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
ОС Windows	8350,00	3	1	231,94
Прикладний пакет Microsoft Office	7210,00	3	1	200,28
Оргтехніка	8100,00	5	1	135,00
Метрологічний комплекс	12120,00	5	1	202,00
Приміщення лабораторії досліджень	565000,00	30	1	1569,44
Робоче місце інженера-розробника	8320,00	5	1	138,67
Пристрій виводу інформації	6950,00	5	1	115,83
Електронно-обчислювальний комплекс	32730,00	3	1	909,17
Вимірювач концентрації летких речовин лабораторний	28930,00	7	1	344,40
Комп'ютер персональний ПК Brain JQ1200	28300,00	3	1	786,11
Всього				4632,85

4.3.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

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

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

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

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

$$B_e = 0,45 \cdot 1,8 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 8,89 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Оргтехніка	0,45	1,8	8,89
Метрологічний комплекс	0,23	100,0	252,54
Комп'ютер персональний ПК Brain JQ1200	0,25	180,0	494,10
Робоче місце інженера-розробника	0,10	180,0	197,64
Пристрій виводу інформації	0,12	15,0	19,76
Електронно-обчислювальний комплекс	0,36	180,0	711,50
Вимірювач концентрації летких речовин лабораторний	0,52	80,0	456,77
Програматор мікроконтролерний	0,02	25,0	5,49

Продовження таблиці 4.10 – Витрати на електроенергію

Осцилограф HANTEK DSO2C15 150МГц	1,50	80,0	1317,60
Паяльна станція SEQUIRE MSS12 Pro Intelligent	0,10	25,0	27,45
Всього			3491,75

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 розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою 4.14.

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 32\%$.

$$B_{cn} = (35673,91 + 5915,00) \cdot 32 / 100\% = 13308,45 \text{ (грн.)}.$$

4.3.11 Інші витрати

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою 4.15.

$$I_{\varepsilon} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\varepsilon}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ε} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{\varepsilon} = 52\%$.

$$I_{\varepsilon} = (35673,91 + 5915,00) \cdot 52 / 100\% = 21626,23 \text{ (грн.)}.$$

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 4.16.

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 110\%$.

$$B_{нзв} = (35673,91 + 5915,00) \cdot 110 / 100\% = 45747,80 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою 4.17.

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{доо} + З_n + M + K_{\text{в}} + B_{\text{спец}} + B_{\text{прз}} + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + B_{\text{сп}} + I_{\text{в}} + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$\begin{aligned} B_{заг} &= 35673,91 + 5915,00 + 4158,89 + 10064,52 + 2495,44 + 4181,10 + 66268,40 \\ &+ 22033,00 + 4632,85 + 3491,75 + 0,00 + 13308,45 + 21626,23 + 45747,80 = \\ &= 239597,35 \text{ (грн.)} \end{aligned}$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою 4.18.

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,9$.

$$ЗВ = 239597,35 / 0,9 = 266219,28 \text{ (грн.)}$$

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

Результати дослідження проведені за темою «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні» передбачають комерціалізацію протягом 4-х років реалізації на ринку.

1) *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	450	600	600	400

N – кількість споживачів які використовували аналогічний пристрій у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки, прийmemo 8400 осіб;

C_o – вартість пристрою у році до впровадження результатів розробки, прийmemo 6800,00 (грн.);

$\pm \Delta C_o$ – зміна вартості пристрою від впровадження результатів науково-технічної розробки, прийmemo 168,00 (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 4.19 [36].

$$\Delta \Pi_i = (\pm \Delta C_o \cdot N + C_o \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (4.19)$$

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:

$$\Delta\Pi_1 = (168,00 \cdot 8400,00 + 6968,00 \cdot 450) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 1237820,83 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 2-го року:

$$\Delta\Pi_2 = (168,00 \cdot 8400,00 + 6968,00 \cdot 1050) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 2376001,82 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 3-го року:

$$\Delta\Pi_3 = (168,00 \cdot 8400,00 + 6968,00 \cdot 1650) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 3514182,82 \text{ (грн.)}.$$

Збільшення чистого прибутку 4-го року:

$$\Delta\Pi_4 = (168,00 \cdot 8400,00 + 6968,00 \cdot 2050) \cdot 0,83 \cdot 0,4 \cdot (1 - 0,18/100\%) = 4272970,14 \text{ (грн.)}.$$

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 4.20.

$$\Pi\Pi = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^i}, \quad (4.20)$$

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, $\tau = 0,15$;

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

$$\begin{aligned} III &= 1237820,83 / (1+0,15)^1 + 2376001,82 / (1+0,15)^2 + 3514182,82 / (1+0,15)^3 + + \\ &4272970,14 / (1+0,15)^4 = 1076365,94 + 1796598,73 + 2310632,25 + 2443084,55 = \\ &= 7626681,47 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Величина початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.21.

$$PV = k_{инв} \cdot 3B, \quad (4.21)$$

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 266219,28 (грн.).

$$PV = k_{инв} \cdot 3B = 2 \cdot 266219,28 = 532438,55 \text{ (грн.)}.$$

Абсолютний економічний ефект $E_{абс}$ для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.22.

$$E_{абс} = III - PV \quad (4.22)$$

де III – приведена вартість зростання всіх чистих прибутків від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки, 7626681,47 (грн.);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 532438,55 (грн.).

$$E_{abc} = III - PV = 7626681,47 - 532438,55 = 7094242,91 \text{ (грн.)}.$$

Внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.23.

$$E_{\epsilon} = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.23)$$

де E_{abc} – абсолютний економічний ефект вкладених інвестицій, 7094242,91 (грн);

PV – теперішня вартість початкових інвестицій, 532438,55 (грн.);

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

$$E_{\epsilon} = T_{ж} \sqrt[4]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1 = (1 + 7094242,91/532438,55)^{1/4} - 1 = 0,95.$$

Мінімальна внутрішня економічна дохідність вкладених інвестицій τ_{min} розраховується за формулою 4.24.

$$\tau_{min} = d + f, \quad (4.24)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = 0,12$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладення інвестицій, приймемо 0,15.

$\tau_{min} = 0,12 + 0,15 = 0,27 < 0,95$ свідчить про те, що внутрішня економічна дохідність інвестицій E_{ϵ} , вища мінімальної внутрішньої дохідності. Тобто

інвестувати в науково-дослідну роботу за темою «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні» доцільно.

Період окупності інвестицій $T_{ок}$ які можуть бути вкладені потенційним інвестором у впровадження та комерціалізацію науково-технічної розробки розраховується за формулою 4.25.

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (4.25)$$

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

$$T_{ок} = 1 / 0,95 = 1,06 \text{ р.}$$

$T_{ок} < 3$ -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 аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні» становить 38,3 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 2,01 рази.

Також термін окупності становить 1,06 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 аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні».

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі виконано комплексне дослідження системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщеннях. Актуальність теми підтверджена сучасними екологічними викликами, збільшенням часу перебування людей у закритих приміщеннях, а також підвищенням вимог до мікроклімату, що позитивно впливає на здоров'я, продуктивність і комфорт людей.

У процесі виконання роботи проаналізовано основні показники якості повітря, зокрема концентрацію CO₂, рівень дрібнодисперсних часток PM_{2.5} і PM₁₀, температуру та вологість. Виявлено, що існуючі рішення, попри їхню функціональність, мають певні недоліки, такі як висока вартість, складність інтеграції в системи "розумний дім" та обмежений спектр вимірюваних параметрів.

На основі аналізу розроблено структурну схему радіотехнічної системи, яка поєднує сенсори для моніторингу ключових параметрів якості повітря, мікроконтролер для обробки даних і модуль передачі інформації. Обраний мікроконтролер ESP32 забезпечує стабільну роботу, можливість інтеграції через протоколи Wi-Fi та Bluetooth, а також високу енергоефективність, що дозволяє використовувати систему як в автономному, так і в мережевому режимах.

Значну увагу приділено корпусу та програмному забезпеченню для системи. Розроблено алгоритми, які дозволяють обробляти дані сенсорів у реальному часі, виявляти аномальні значення та автоматизувати керування кліматичними системами. Це дозволяє не лише покращувати якість повітря, а й підвищувати енергоефективність будівель завдяки оптимізації роботи вентиляційного обладнання.

Економічний аналіз показав, що розроблена система є рентабельною та має конкурентну вартість у порівнянні з аналогами. Вона може бути впроваджена як у приватних, так і в комерційних приміщеннях, таких як офіси, школи чи медичні заклади.

Практичне значення роботи полягає у створенні системи, яка є універсальною, інтегрується з іншими елементами "розумного дому" та відповідає сучасним стандартам у сфері моніторингу якості повітря. Система може бути використана як основа для подальших розробок у цій галузі, а її впровадження сприятиме підвищенню рівня екологічної безпеки та комфорту життя.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. T. Smith and J. Clark, "Measurement Techniques for Indoor Air Quality Parameters," *Environmental Monitoring Journal*, vol. 45, no. 6, pp. 234-245, 2020.
2. R. Jones and P. Taylor, "Indoor Air Pollutants and Their Impacts on Health," *WHO Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 78-89, 2021.
3. M. Brown and G. Lee, "Overview of Indoor Environmental Quality Standards," *ISO Review*, vol. 34, pp. 56-78, 2019.
4. Вуглекислий газ у приміщеннях. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://surl.li/tyxqni>
5. Мікроклімат та його вплив на працездатність людини. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://surl.li/wfcpgh>
6. Мікроскопічна загроза: частинки PM10 и PM2,5. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://surl.li/cljqfa>
7. Датчик Tervix Pro Line. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://surl.li/zjdoca>
8. Офіційна документація датчика Moes WSS-FB-CO2-U. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://surl.li/qrtsgd>
9. Офіційна документація датчика Ajax LifeQuality. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://ajax.systems/ua/products/specs/lifequality/>
10. L. Davis and T. Harris, "Comparative Study of Air Quality Monitoring Devices," *Environmental Science and Technology Journal*, vol. 54, no. 2, pp. 123-134, 2020.
11. K. Roberts and F. Johnson, "Pros and Cons of Different Air Monitoring Technologies," *Frontiers in Environmental Research*, vol. 12, no. 5, pp. 345-359, 2021.
12. P. Walker, "Evaluating Indoor Air Quality Devices: Effectiveness and Limitations," *Nature Reviews Environmental Science*, vol. 15, no. 4, pp. 56-69, 2021.
13. R. Miller and J. Cooper, "Summary of Indoor Air Quality Analysis Methods," *EPA Research Journal*, vol. 19, no. 8, pp. 134-150, 2020.

14. S. Patel and R. Singh, "Selecting Microcontrollers for IoT-Based Air Quality Systems," IEEE Embedded Systems Journal, vol. 28, no. 3, pp. 45-60, 2020.
15. L. Roberts and H. Kim, "Microcontroller Design Considerations for Environmental Monitoring," Advances in Embedded Systems, vol. 15, no. 1, pp. 78-89, 2021.
16. T. Wilson and J. Brown, "Top Microcontrollers for Air Quality Applications," MDPI Electronics, vol. 18, no. 7, pp. 112-126, 2022.
17. Офіційна документація мікроконтролера ESP32-C3. – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://surl.li/jqqxnd>
18. J. Taylor and M. Green, "Structural Design of Environmental Monitoring Systems," IEEE System Architecture Journal, vol. 34, no. 2, pp. 90-105, 2020.
19. R. Davis and S. White, "Frameworks for Designing IoT-Based Air Quality Systems," Journal of System Engineering, vol. 27, no. 4, pp. 134-150, 2021.
20. P. Lee and Y. Zhang, "Architectural Design of Smart Air Quality Monitoring Devices," Springer Advances in IoT Systems, pp. 56-72, 2021.
21. M. Walker and T. Brown, "Selecting Sensors and Components for Air Quality Monitoring," Sensors Journal, vol. 12, no. 5, pp. 234-250, 2020.
22. J. Smith and P. Wilson, "Component Analysis for IoT Environmental Devices," MDPI Technologies, vol. 15, no. 3, pp. 78-92, 2021.
23. L. Kim and S. Roberts, "Components for Real-Time Air Quality Monitoring Systems," Advances in Sensor Systems, vol. 19, no. 8, pp. 120-136, 2021.
24. R. Jones and K. Taylor, "Detailed Structural Design of Smart Monitoring Systems," IEEE IoT Design Journal, vol. 21, no. 6, pp. 89-105, 2020.
25. L. Smith and G. Brown, "From Concept to Detail: Air Quality Device Design," Journal of Applied System Design, vol. 13, no. 2, pp. 134-150, 2021.
26. Y. Patel and J. Green, "Blueprints for Environmental Monitoring Systems," MDPI Engineering Design, vol. 22, no. 4, pp. 56-72, 2021.
27. M. Brown and T. Wilson, "Principles of Electrical Design for IoT Air Quality Systems," IEEE Circuit Design Journal, vol. 12, no. 4, pp. 56-72, 2020.

28. P. Lee and H. Kim, "Detailed Electrical Schematics for Environmental Devices," *Advances in IoT Hardware Design*, vol. 8, no. 3, pp. 120-135, 2021.
29. L. Roberts and R. Singh, "Designing Power-Efficient Air Quality Devices," *MDPI Electronics*, vol. 14, no. 5, pp. 89-105, 2021.
30. S. Patel and J. White, "Software Development for Air Quality Monitoring Systems," *IEEE Software Engineering Journal*, vol. 29, no. 6, pp. 90-110, 2020.
31. Y. Zhang and T. Brown, "IoT Software Frameworks for Air Quality Applications," *Journal of Embedded Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 45-60, 2021.
32. L. Harris and P. Wilson, "Customizing Software for Environmental Monitoring Devices," *Springer Advances in Software Development*, pp. 120-135, 2021.
33. T. Davis and R. Smith, "Comparative Analysis of Air Quality Monitoring Technologies," *Environmental Technology Journal*, vol. 22, no. 5, pp. 89-105, 2020.
34. J. Brown and Y. Patel, "Benchmarking Air Quality Systems: Developed vs. Existing Solutions," *MDPI Environmental Technologies*, vol. 10, no. 3, pp. 78-92, 2021.
35. R. Taylor and L. Green, "Performance Evaluation of Modern Air Quality Devices," *IEEE Transactions on Environmental Systems*, vol. 18, no. 6, pp. 134-150, 2021.
36. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.
37. 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 АНАЛІЗУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ
ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ

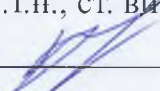
Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Докучаєв О.С.

(прізвище та ініціали)

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

 Притула М.О.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

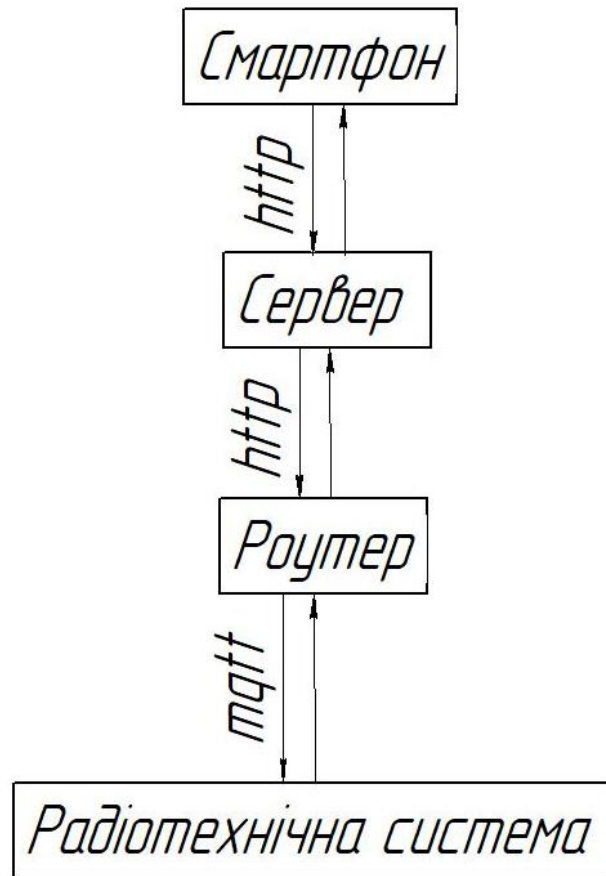


Рисунок 1 – Загальний принцип роботи радіотехнічної системи

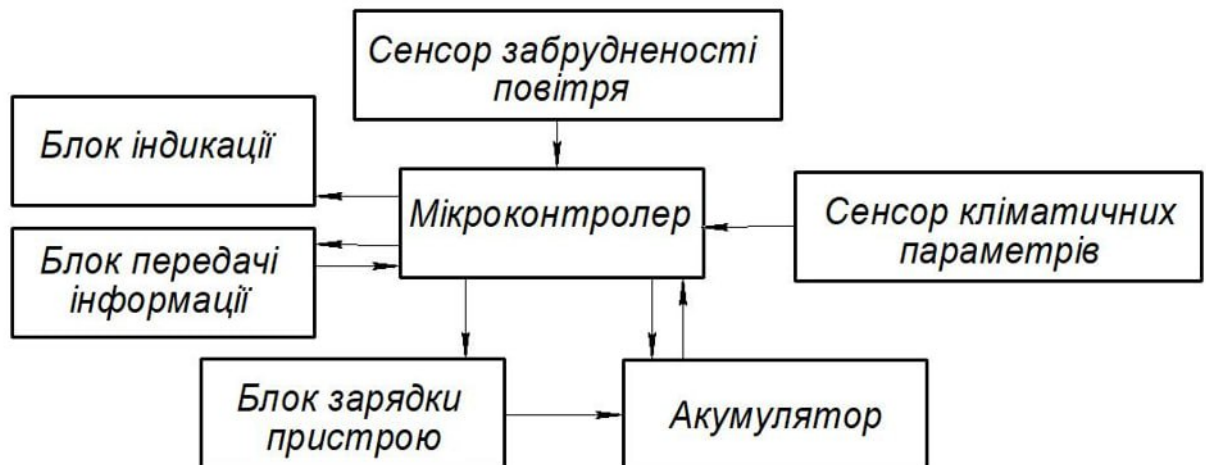


Рисунок 2 – Загальна структурна схема радіотехнічної системи

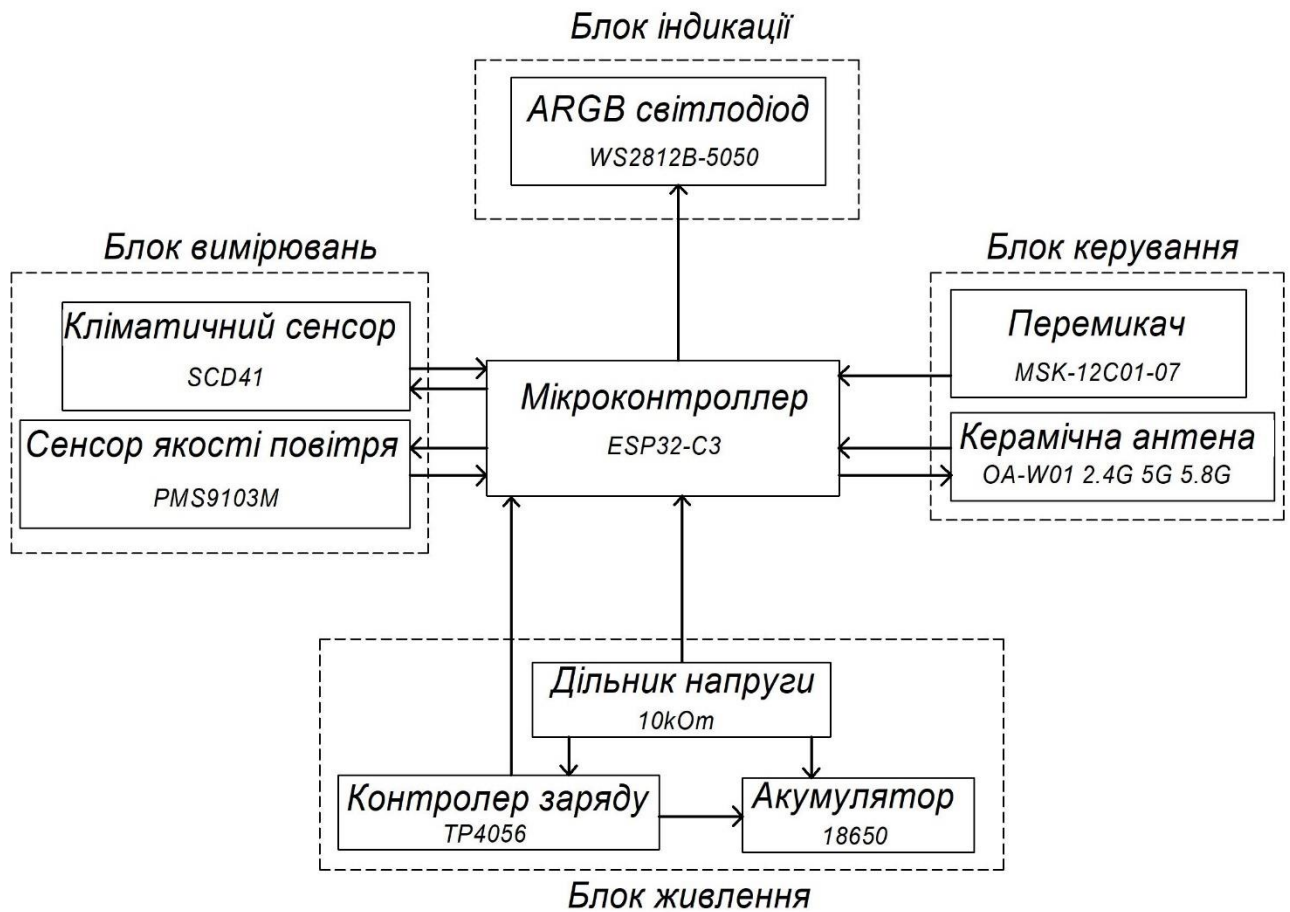


Рисунок 3 – Детальна структурна схема радіотехнічної системи

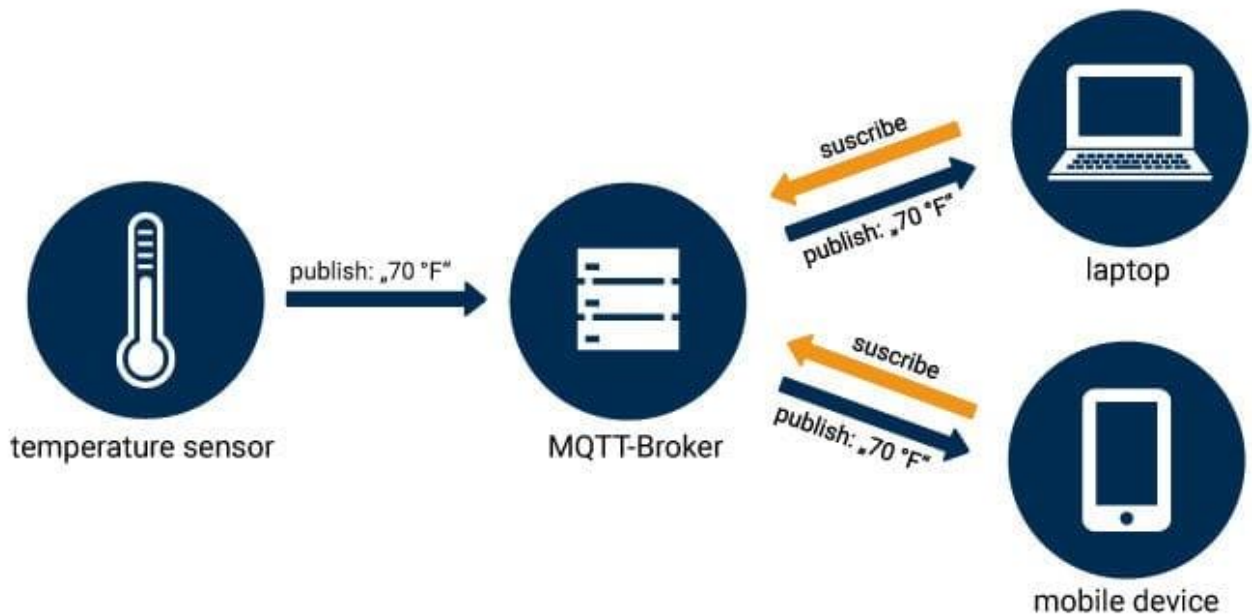


Рисунок 4 – Схема підключень пристроїв за допомоги MQTT-Broker

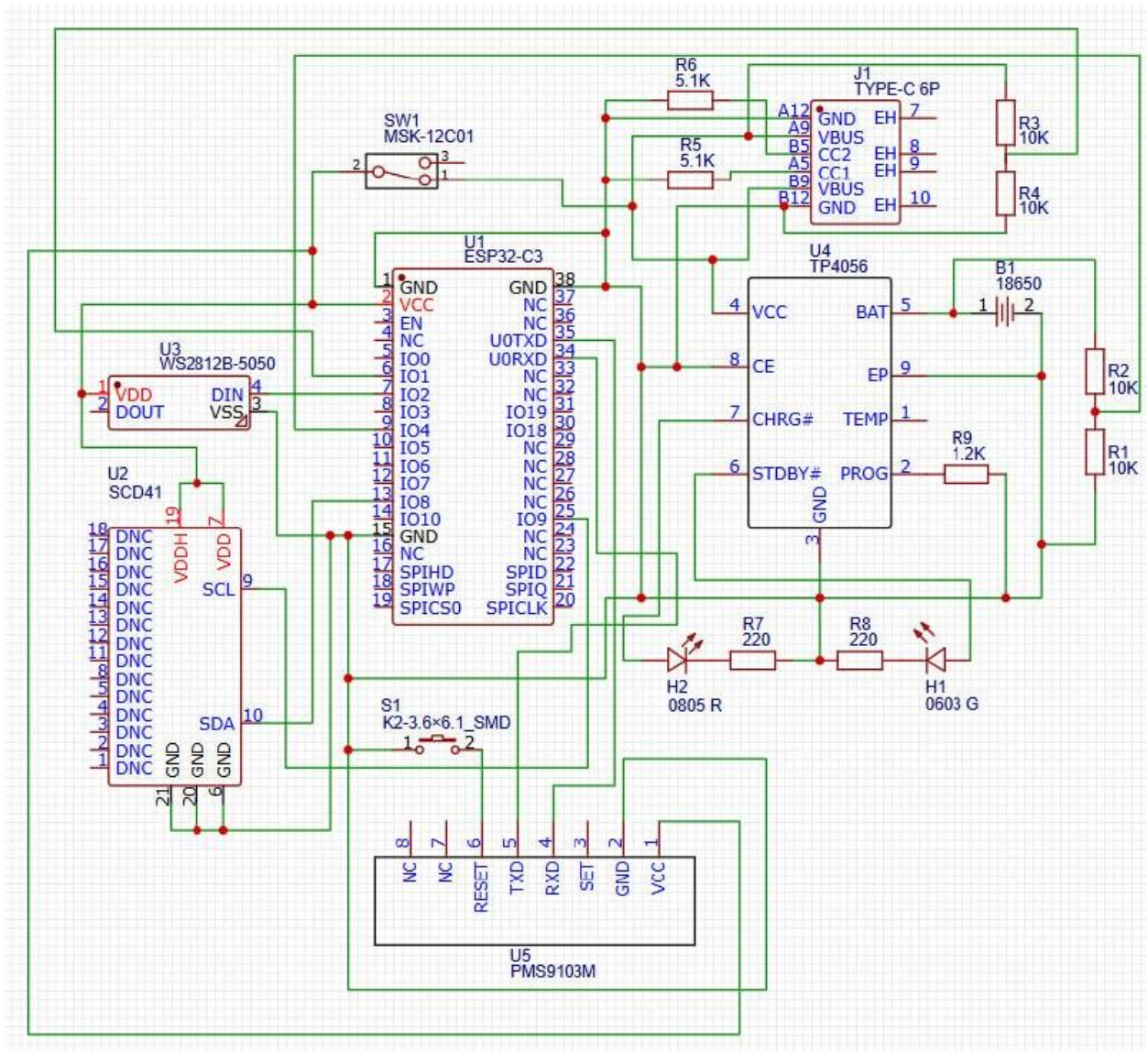


Рисунок 5 – Схема електрично-принципова радіотехнічної системи

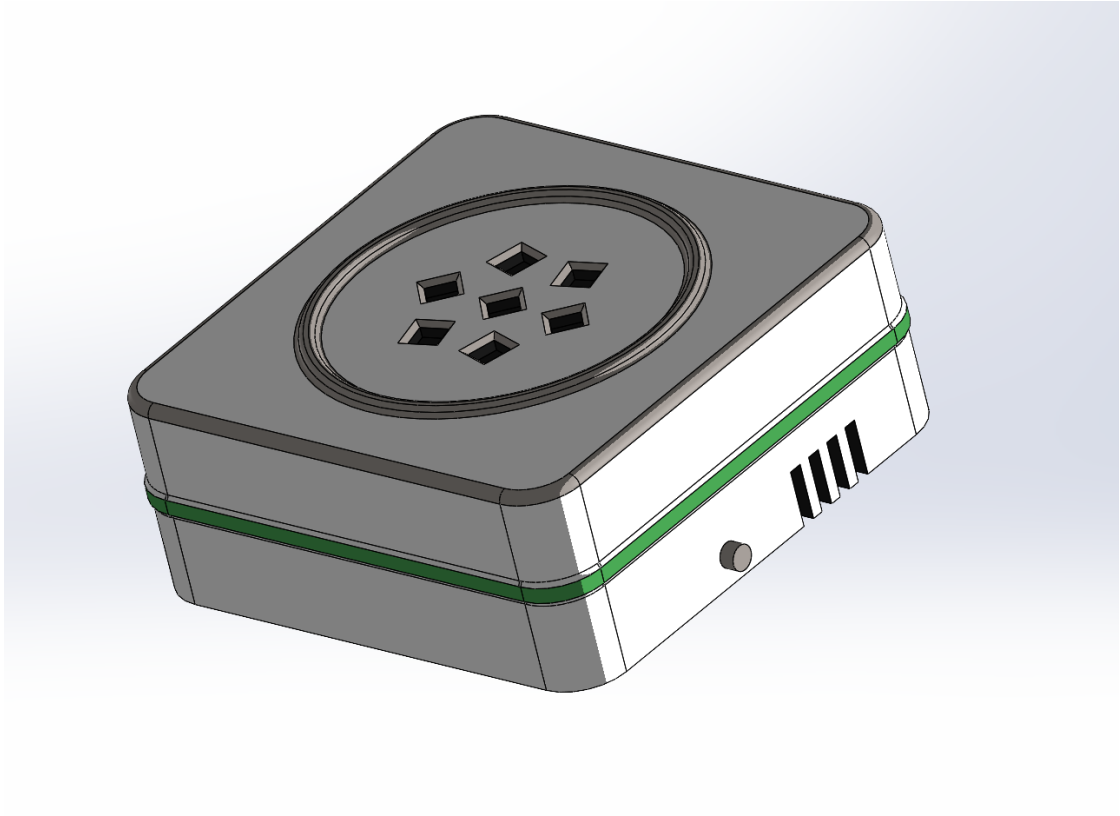


Рисунок 6 – Корпус радіотехнічної системи спереду в середовищі SolidWorks

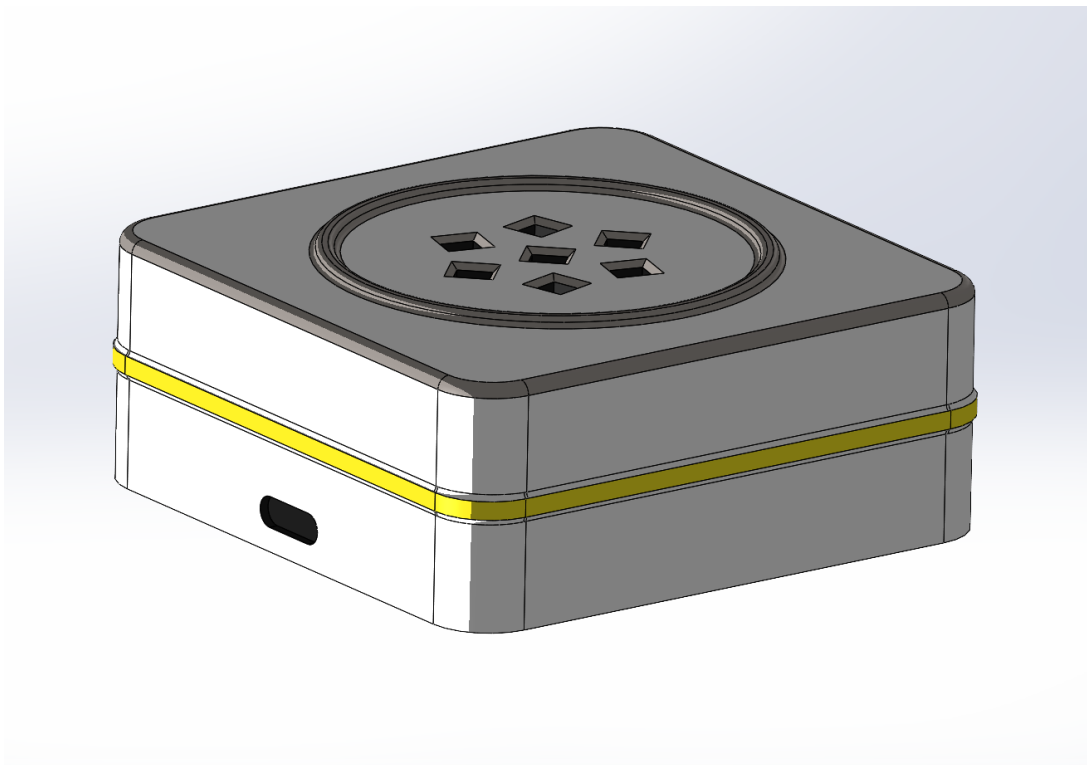


Рисунок 7 - Корпус радіотехнічної системи ззаду в середовищі SolidWorks

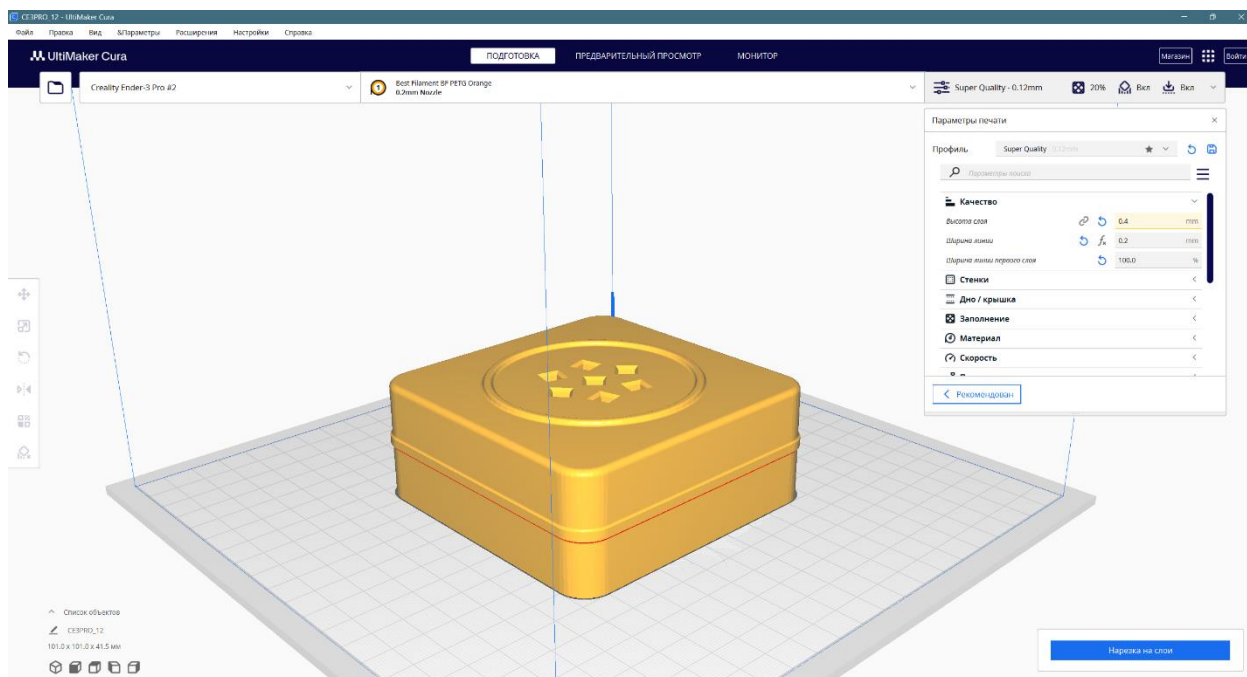


Рисунок 8 – Корпус в программе для слайсингу модели для 3Д принтера

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**РАДІОТЕХНІЧНА СИСТЕМА АНАЛІЗУ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ
ПОВІТРЯ В ПРИМІЩЕННІ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Радіотехнічна система аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 91,0% Схожість 9,0%

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.

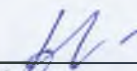
Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

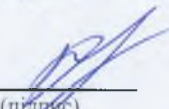
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Олексій ДОКУЧАЄВ
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Максим ПРИТУЛА
(прізвище, ініціали)

Додаток В (довідниковий)

Лістинг програми для радіотехнічної системи аналізу та забезпечення якості повітря в приміщенні

```

#include <WiFi.h>
#include <PubSubClient.h>
#include <SparkFun_SCD4x_Arduino_Library.h>
#include <Wire.h>
#include <SoftwareSerial.h>

// Wi-Fi налаштування
const char* ssid = "your_SSID";
const char* password = "your_PASSWORD";

// MQTT налаштування
const char* mqtt_server = "broker.hivemq.com";
const char* mqtt_topic = "your_topic";

WiFiClient espClient;
PubSubClient client(espClient);
SCD4x scd4x;
SoftwareSerial pmsSerial(16, 17); // RX, TX для PMS9103M

// Змінні для відстеження часу
unsigned long previousMillis = 0;
const long interval = 10000; // Інтервал між вимірюваннями в
мільсекундах (10 секунд)

// Піни для вимірювання напруги та індикації
const int voltagePin = A0; // Підключення до аналогового входу
для дільника напруги
const int ledPin = 2;      // Пін для світлодіода

// Параметри дільника напруги
const float R1 = 10000.0; // Опір верхнього резистора (в Ом)
const float R2 = 10000.0; // Опір нижнього резистора (в Ом)
const float referenceVoltage = 3.3; // Референсна напруга для
ADC

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.begin(ssid, password);

  // Підключення до Wi-Fi
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("WiFi connected");

```

```

client.setServer(mqtt_server, 1883);

// Ініціалізація SCD41
Wire.begin();
if (scd4x.begin() == false) {
    Serial.println("SCD41 not detected");
    while (1);
}
scd4x.startPeriodicMeasurement();

// Ініціалізація PMS9103M
pmsSerial.begin(9600);

// Ініціалізація світлодіода
pinMode(ledPin, OUTPUT);
}

void reconnect() {
    // Підключення до MQTT
    while (!client.connected()) {
        Serial.print("Connecting to MQTT...");
        if (client.connect("ESP32Client")) {
            Serial.println("connected");
        } else {
            Serial.print("failed, rc=");
            Serial.print(client.state());
            delay(2000);
        }
    }
}

void readSCD41Data() {
    if (scd4x.readMeasurement()) {
        if (scd4x.co2 > 0) {
            char buffer[100];
            snprintf(buffer, sizeof(buffer), "{\"CO2\": %d,
\\\"Temperature\\\": %.2f, \\\"Humidity\\\": %.2f}\",", scd4x.co2,
scd4x.temperature, scd4x.humidity);
            client.publish(mqtt_topic, buffer);
        } else {
            Serial.println("Invalid reading from SCD41");
        }
    }
}

void readPMSData() {
    if (pmsSerial.available()) {
        uint8_t buffer[32];
        pmsSerial.readBytes(buffer, 32);

        // Парсинг даних PMS9103M
        int pm2_5 = buffer[10] * 256 + buffer[11];
    }
}

```

```

    int pm10 = buffer[12] * 256 + buffer[13];

    char pmsBuffer[100];
    snprintf(pmsBuffer, sizeof(pmsBuffer), "{\"PM2.5\": %d,
    \"PM10\": %d}\", pm2_5, pm10);
    client.publish(mqtt_topic, pmsBuffer);
}

float readVoltage() {
    int rawValue = analogRead(voltagePin);
    float voltage = rawValue * (referenceVoltage / 4095.0); //
ADC 12-бітний
    float batteryVoltage = voltage * ((R1 + R2) / R2); //
Розрахунок реальної напруги
    return batteryVoltage;
}

void updateLED(float batteryVoltage) {
    // Логіка для індикації рівня заряду на світлодіоді
    if (batteryVoltage > 3.7) {
        digitalWrite(ledPin, HIGH); // Повний заряд
    } else if (batteryVoltage > 3.4) {
        digitalWrite(ledPin, HIGH); // Середній заряд (мигаючий
режим можна додати, якщо потрібно)
    } else {
        digitalWrite(ledPin, LOW); // Низький заряд
    }
}

void loop() {
    if (!client.connected()) {
        reconnect();
    }
    client.loop();

    // Перевірка, чи настав час для нового вимірювання
    unsigned long currentMillis = millis();
    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis; // Оновлення часу

        // Зчитування даних із датчиків та публікація
        readSCD41Data();
        readPMSData();

        // Зчитування напруги та оновлення індикації
        float batteryVoltage = readVoltage();
        updateLED(batteryVoltage);

        // Відправка напруги до MQTT
        char voltageBuffer[50];
        snprintf(voltageBuffer, sizeof(voltageBuffer),
        "{\"BatteryVoltage\": %.2f}\", batteryVoltage);
        client.publish(mqtt_topic, voltageBuffer);
    }
}

```