

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у
багатоквартирному будинку

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи СІ-41
спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Дзвінник Б. М.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Лецишин Ю.З.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Луцик Н.С.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Дмитроца Л.П.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 25 » квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Дзвіннику Богдану Михайловичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку

Керівник роботи Лецишин Юрій Зіновійович, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від « 24 » 04 2026 року № 4/9-188.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз технічного завдання

2. Проєктна частина

3. Практична частина

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Схема електрична структурна

2. Схема електрична принципова

3. Блок схема алгоритму роботи системи

4. Модель макету

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Гурик О. Я. доцент кафедри МТ</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Студент		Дзвінник Б. М.	
	(підпис)		(прізвище та ініціали)
Керівник роботи		Лецишин Ю.З.	
	(підпис)		(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дзвінник Б. М. Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026.

Ключові слова: кондиціонування, забруднення повітря, ESP32, I²C, алгоритм.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з чотирьох розділів.

У першому розділі виконано аналіз технічного завдання, та укладено вимоги до комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку.

В другому розділі описується процес проектування та реалізації проекту, комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку. Приводиться розробка апаратного забезпечення для функціонування системи. Розглядаються бібліотеки та реалізація функцій побудованих на основі них, їх алгоритми.

В третьому розділі проводиться програмна реалізація, налаштування та тестування комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку.

Четвертий розділ описує безпеку життєдіяльності, основи охорони праці.

ABSTRACT

Dzvinnyk B. M. Computer System for Air Conditioning Control in an Apartment Building: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: air conditioning, air pollution, ESP32, I2C, algorithm.

The bachelor's qualification work consists of four sections.

The first section analyzes the technical task and concludes the requirements for a computer control system for the air conditioning process in an apartment building.

The second section describes the process of designing and implementing the project, a computer control system for the air conditioning process in an apartment building. The development of hardware for the system's operation is presented. Libraries and the implementation of functions built on their basis, their algorithms are considered.

The third section provides software implementation, configuration and testing of a computer control system for the air conditioning process in an apartment building.

The fourth section describes the safety of life, the basics of labor protection.

ЗМІСТ

СПИСОК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ	8
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	11
1.1 Аналіз існуючих промислових систем кондиціонування та вентиляції	11
1.2 Принципи побудови систем кондиціонування і вентиляції.....	13
1.3 Аналіз вимог до системи керування процесом кондиціонування.....	178
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	21
2.1 Розробка структури системи	21
2.2 Обґрунтування вибору апаратної частини системи керування	23
2.2.1 Вибір плати мікроконтролера ESP32	233
2.2.2 Вибір датчика MQ-2	23
2.2.3 Вибір датчика MQ-9	26
2.2.4 Вибір датчика MQ-135	27
2.2.5 Вибір датчика BME680	28
2.2.6 Вибір датчика SGP30	29
2.3 Опис протоколу I2C.	31
2.4 Проектування алгоритму роботи комп'ютерної системи	33
2.5 Опис використовуваних бібліотек.....	36
2.6 UML-діаграма станів.....	39

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Дзвінник Б. М.			Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку Пояснююча записка	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Лецишин Ю.З.					6	64
						ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. Контр.		Луцик Н.С.						
Затверд.		Осухівська Г.М.						

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА	42
3.1 Моделювання роботи системи	42
3.2 Опис коду програми роботи системи	44
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	55
4.1 Долікарська допомога при опіках.....	55
4.2 Заходи, що покращують умови праці оператора.	57
ВИСНОВКИ	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	63
Додаток А. Технічне завдання	
Додаток Б. Перелік елементів	
Додаток В. Код програми	

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ОСНОВНИХ УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ

CPU – Central Processing Unit

I2C — Inter-Integrated Circuit

USB – Universal Serial Bus

WiFi — Wireless Fidelity

АЦП — аналого цифровий перетворювач

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасні багатоквартирні будинки потребують ефективних систем забезпечення комфортного та безпечного мікроклімату. Одним із ключових факторів, що впливають на здоров'я та самопочуття мешканців, є якість повітря, яке надходить до приміщень із зовнішнього середовища. Зростання рівня урбанізації, збільшення кількості транспортних засобів, функціонування промислових об'єктів та інші антропогенні чинники призводять до погіршення якості атмосферного повітря. У таких умовах традиційні системи кондиціонування та вентиляції не завжди здатні забезпечити необхідний рівень захисту від шкідливих домішок, газів та продуктів горіння.

Одним із перспективних напрямів вирішення даної проблеми є впровадження комп'ютеризованих систем керування, які здійснюють безперервний моніторинг параметрів навколишнього середовища та автоматично адаптують режими роботи систем кондиціонування залежно від поточного стану повітря. Використання сучасних мікроконтролерних платформ, інтелектуальних датчиків та засобів бездротового зв'язку дозволяє створювати автономні системи, здатні оперативно реагувати на виникнення небезпечних ситуацій та забезпечувати високий рівень комфорту й безпеки користувачів.

Особливістю розробленої системи є автоматичне перекриття доступу зовнішнього повітря до системи кондиціонування за допомогою сервоприводу у випадку виявлення підвищених концентрацій шкідливих речовин або погіршення показників якості повітря. Додатково реалізовано можливість інформування користувачів про поточний стан системи та виникнення небезпечних ситуацій через бездротові канали зв'язку Wi-Fi та Bluetooth.

Актуальність теми обумовлена необхідністю підвищення ефективності систем кондиціонування та вентиляції житлових будівель, зменшення негативного впливу забрудненого атмосферного повітря на здоров'я людей, а

					КС КРБ 123.148.00.00 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

також широким впровадженням технологій Інтернету речей та інтелектуальних систем автоматизації в житлово-комунальній сфері.

Метою роботи є розроблення комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку, яка забезпечує моніторинг параметрів зовнішнього повітря, автоматичне керування доступом повітря до системи кондиціонування та дистанційне інформування користувачів про стан навколишнього середовища.

Практична цінність роботи полягає у створенні комп'ютерної системи, здатної автоматично контролювати якість зовнішнього повітря, запобігати потраплянню забруднених повітряних мас до приміщень та оперативно інформувати користувачів про виникнення небезпечних ситуацій.

.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Аналіз існуючих промислових систем кондиціонування та вентиляції

Промислові системи кондиціонування та вентиляції дедалі частіше оснащуються засобами моніторингу якості зовнішнього та внутрішнього повітря, що дозволяє автоматично змінювати режими роботи залежно від екологічної ситуації. Подібні рішення використовуються в адміністративних будівлях, торговельних центрах, лікарнях, навчальних закладах, офісних комплексах та житлових будинках підвищеного рівня комфорту. Основним завданням таких систем є запобігання потраплянню забрудненого повітря до приміщень та підтримання безпечних параметрів мікроклімату. Для цього застосовуються датчики концентрації вуглекислого газу, чадного газу, оксидів азоту, летких органічних сполук, твердих частинок пилу PM2.5 і PM10, а також датчики температури та відносної вологості повітря. На основі отриманих даних контролери систем вентиляції та кондиціонування автоматично регулюють продуктивність вентиляторів, змінюють положення повітряних заслінок, перемикають систему на рециркуляцію або повністю перекривають надходження зовнішнього повітря [1-3].

У сучасних системах керування якістю повітря одним із головних параметрів є концентрація вуглекислого газу. Вважається, що значення до 800 ppm відповідає високій якості повітря, концентрація від 800 до 1000 ppm є допустимою, а перевищення рівня 1000 ppm свідчить про недостатню вентиляцію приміщення та потребує коригування режимів роботи системи. При концентрації понад 1500 ppm у людей можуть спостерігатися погіршення концентрації уваги, підвищена втомлюваність та зниження працездатності.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку Пояснююча записка			Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Дзвінник Б. М.									11	64
Перевір.		Лецишин Ю.З.										
								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				
Н. Контр.		Луцик Н.С.										
Затверд.		Осухівська Г.М.										

Багато промислових систем вентиляції використовують саме рівень CO₂ як основний критерій регулювання повітрообміну.

Окрім вуглекислого газу, важливим показником якості повітря є концентрація твердих частинок PM_{2.5} та PM₁₀. Частинки PM_{2.5} мають розмір менше 2,5 мкм та можуть проникати глибоко в легені людини. Відповідно до рекомендацій Всесвітньої організації охорони здоров'я середньодобова концентрація PM_{2.5} не повинна перевищувати 15 мкг/м³, а рівні понад 35–75 мкг/м³ уже розглядаються як потенційно небезпечні для здоров'я. При концентраціях понад 100–150 мкг/м³ багато сучасних вентиляційних систем обмежують або повністю припиняють подачу зовнішнього повітря та переходять у режим рециркуляції.

Для контролю газових забруднювачів застосовуються датчики летких органічних сполук (VOC) та еквівалентної концентрації вуглекислого газу (eCO₂). Леткі органічні сполуки утворюються під час використання будівельних матеріалів, побутової хімії, лакофарбових покриттів та продуктів горіння. У більшості промислових систем рівень VOC до 200–300 ppb вважається низьким, від 300 до 1000 ppb — середнім, а перевищення 1000 ppb є підставою для збільшення вентиляції або активації додаткових фільтраційних систем. Для оцінювання загального стану повітря часто використовуються інтегральні індекси якості повітря, сформовані на основі показників VOC, CO₂ та концентрації пилу.

У промислових та громадських будівлях також здійснюється контроль чадного газу (CO), який є одним із найнебезпечніших забруднювачів повітря. Нормальним вважається рівень до 9 ppm, тоді як концентрація понад 35 ppm потребує негайного реагування системи вентиляції. При подальшому зростанні концентрації автоматизовані системи можуть формувати аварійні повідомлення та запускати спеціальні режими провітрювання. Також контролюються оксиди азоту (NO_x), діоксид сірки (SO₂), озон (O₃) та інші забруднювачі, характерні для міських і промислових районів [1-3].

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У сучасних системах кондиціонування використовується принцип адаптивного керування якістю повітря. Якщо датчики фіксують підвищення концентрації пилу, токсичних газів або летких органічних сполук у зовнішньому середовищі, контролер автоматично закриває припливні заслінки, переводить систему в режим рециркуляції та надсилає повідомлення оператору або користувачу. Подібний підхід дозволяє значно зменшити проникнення забрудненого повітря до приміщень та підвищити безпеку мешканців. Саме цей принцип покладено в основу розроблюваної комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку. У запропонованому проєкті аналіз якості зовнішнього повітря виконується за допомогою датчиків MQ-2, MQ-9, MQ-135, BME680 та SGP30, а при перевищенні встановлених порогових значень сервопривід MG995 перекриває приплив зовнішнього повітря, після чого користувач отримує відповідне повідомлення через канали Wi-Fi та Bluetooth.

1.2 Принципи побудови систем кондиціонування і вентиляції

Системи кондиціонування та вентиляції, призначені для забезпечення комфортного мікроклімату в житлових, громадських та промислових будівлях, дедалі частіше оснащуються функціями автоматичного контролю якості зовнішнього повітря. Необхідність застосування таких систем обумовлена постійним зростанням рівня забруднення атмосфери внаслідок інтенсивного автомобільного руху, діяльності промислових підприємств, функціонування котелень, виникнення пожеж та інших джерел шкідливих викидів. Традиційні системи вентиляції працюють за принципом постійного або регульованого припливу зовнішнього повітря незалежно від його якості, що в окремих випадках може призводити до потрапляння до приміщень небезпечних газів, пилу, продуктів горіння та інших шкідливих речовин [1-3]. Саме тому сучасні інтелектуальні системи вентиляції та кондиціонування будуються за

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принципом безперервного моніторингу навколишнього середовища та автоматичного реагування на погіршення параметрів повітря.

Оснoву таких систем становить припливно-витяжна вентиляційна установка або центральний кондиціонер, що забезпечує подачу свіжого повітря до приміщення через систему повітроводів (див.рис 1.1). Конструктивно система складається з повітрозабірного вузла, повітряних фільтрів, вентилятора, рекуператора тепла або теплообмінника, мережі повітроводів, регулюючих заслінок та блоку автоматичного керування. Повітря надходить із зовнішнього середовища через повітрозабірний канал, проходить через систему очищення та надалі подається до житлових або робочих приміщень [1-3]. Для забезпечення ефективного контролю якості повітря поблизу повітрозабірного вузла встановлюються датчики забруднення, які безперервно здійснюють вимірювання параметрів навколишнього середовища.

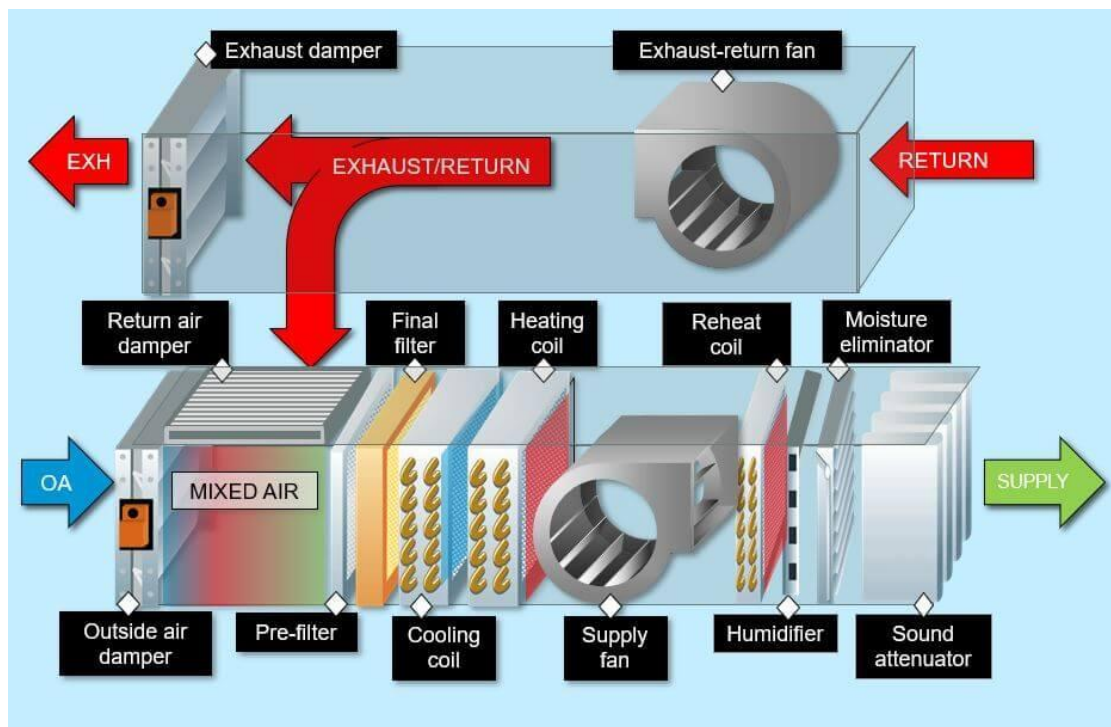


Рисунок 1.1 – Загальна конструкція припливно-витяжної вентиляційної установки або центрального кондиціонера

У сучасних системах можуть використовуватися датчики концентрації вуглекислого газу, чадного газу, оксидів азоту, діоксиду сірки, озону, летких

органічних сполук, диму, природного газу, продуктів горіння, а також датчики концентрації дрібнодисперсного пилу PM2.5 та PM10. Додатково можуть контролюватися температура, відносна вологість і атмосферний тиск. Отримана інформація передається до мікроконтролера або промислового програмованого логічного контролера, який виконує аналіз параметрів повітря та приймає рішення щодо подальшої роботи системи.

Принцип функціонування таких систем базується на порівнянні поточних показників якості повітря із встановленими граничними значеннями [1-3]. У разі коли концентрації забруднюючих речовин знаходяться в допустимих межах, система працює у штатному режимі та забезпечує необхідний повітрообмін. Якщо ж датчики фіксують перевищення встановлених порогів, контролер переходить до реалізації алгоритму захисту приміщення від забрудненого повітря. Одним із найпоширеніших способів реагування є часткове або повне перекриття припливного каналу за допомогою автоматичної заслінки.

Конструкція механізму перекриття припливного повітря зазвичай складається з круглої або прямокутної заслінки, встановленої всередині повітроводу (див.рис 1.2). Для її переміщення застосовуються сервоприводи, електроприводи або крокові двигуни. У нормальному режимі заслінка знаходиться у відкритому положенні та забезпечує вільний доступ зовнішнього повітря до вентиляційної системи. При виявленні забруднення контролер подає команду виконавчому механізму, який змінює положення заслінки та зменшує або повністю припиняє приплив повітря ззовні. У багатьох сучасних системах використовується не лише два стани заслінки – відкрито та закрито, а й плавне регулювання кута відкриття, що дозволяє адаптувати обсяг припливного повітря до поточного рівня забруднення.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Приклади виконання конструкції клапана

У більш складних вентиляційних установках використовується режим рециркуляції повітря. У цьому випадку конструкція містить дві або більше заслінок, які забезпечують перемикання потоків повітря між зовнішнім та внутрішнім контурами. При погіршенні якості зовнішнього повітря припливна заслінка закривається, а заслінка рециркуляції відкривається, що дозволяє використовувати вже очищене повітря приміщення для підтримання необхідних параметрів мікроклімату. Такий принцип широко застосовується в сучасних системах кондиціонування адміністративних будівель, лікарень, торговельних центрів та промислових підприємств.

Важливою складовою інтелектуальних систем вентиляції є програмне забезпечення керування. Алгоритми роботи можуть враховувати не лише окремі показники датчиків, але й інтегральні індекси якості повітря, статистичні дані, часові залежності та прогнози змін параметрів середовища. У сучасних реалізаціях використовуються технології Інтернету речей, хмарні сервіси та мобільні додатки, що дозволяють здійснювати дистанційний моніторинг та керування системою. При виникненні небезпечної ситуації користувач може отримувати повідомлення через мережу Wi-Fi, Bluetooth, GSM або інші канали зв'язку.

Для розроблюваної комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку використовується аналогічний

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принцип побудови. Контроль якості зовнішнього повітря здійснюється комплексом датчиків MQ-2, MQ-9, MQ-135, BME680 та SGP30, підключених до мікроконтролера ESP32-DEVKITV1. Датчики дозволяють визначати наявність диму, чадного газу, горючих газів, летких органічних сполук та оцінювати загальний рівень забруднення повітря. Після аналізу отриманих даних мікроконтролер приймає рішення щодо можливості подальшого надходження зовнішнього повітря до системи кондиціонування. У випадку перевищення встановлених порогових значень сервопривід MG995 автоматично перекриває повітрозабірний канал, запобігаючи потраплянню забрудненого повітря до квартир. Одночасно система формує повідомлення для користувача та передає його через інтерфейси Wi-Fi і Bluetooth. Такий підхід дозволяє підвищити рівень безпеки мешканців, забезпечити стабільну якість повітря у приміщеннях та реалізувати сучасну концепцію інтелектуального керування системами кондиціонування і вентиляції житлових будівель.

1.3 Аналіз вимог до системи керування процесом кондиціонування

Основним призначенням розроблюваної комп'ютерної системи є забезпечення безпечного та комфортного мікроклімату в багатоквартирному будинку шляхом автоматичного контролю якості зовнішнього повітря та керування процесом його надходження до системи кондиціонування. На відміну від традиційних систем вентиляції та кондиціонування, які здійснюють подачу повітря незалежно від його складу, запропонована система повинна аналізувати стан навколишнього середовища та приймати рішення щодо можливості використання зовнішнього повітря в режимі реального часу.

Однією з головних вимог до системи є забезпечення безперервного моніторингу параметрів зовнішнього повітря [1-3]. Для цього необхідно використовувати комплекс датчиків, здатних виявляти різні види забруднень. У розроблюваній системі передбачається використання газових сенсорів MQ-2,

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

MQ-9 та MQ-135, які забезпечують контроль наявності диму, чадного газу, горючих газів, аміаку, бензолу та інших шкідливих речовин. Додатково використовуються цифрові датчики BME680 та SGP30, які дозволяють визначати концентрацію летких органічних сполук, еквівалентну концентрацію вуглекислого газу, температуру, вологість та атмосферний тиск. Використання декількох типів сенсорів забезпечує підвищення достовірності оцінювання якості повітря та дозволяє контролювати широкий спектр потенційно небезпечних забруднювачів.

Наступною важливою вимогою є своєчасне виявлення погіршення якості повітря та оперативне реагування на зміну його параметрів. Система повинна виконувати циклічне опитування датчиків через короткі проміжки часу, аналізувати отримані дані та порівнювати їх із заздалегідь встановленими граничними значеннями. У разі перевищення допустимих концентрацій забруднюючих речовин необхідно забезпечити автоматичне виконання захисних дій без участі користувача. Час реакції системи має бути достатньо малим для того, щоб мінімізувати потрапляння забрудненого повітря до житлових приміщень.

Важливою функціональною вимогою є можливість автоматичного перекриття доступу зовнішнього повітря до системи кондиціонування. Для реалізації даної функції необхідно використовувати виконавчий механізм у вигляді сервоприводу MG995, який забезпечує переміщення повітряної заслінки. У нормальному режимі заслінка повинна перебувати у відкритому положенні, забезпечуючи надходження свіжого повітря до системи вентиляції або кондиціонування. При виявленні небезпечного рівня забруднення контролер повинен подати команду сервоприводу на закриття заслінки, тим самим перекриваючи повітрозабірний канал. Після нормалізації показників якості повітря система повинна автоматично відновлювати роботу та відкривати доступ зовнішнього повітря.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

До важливих вимог належить також забезпечення надійності та безперервності функціонування системи. Оскільки система призначена для експлуатації в житловому будинку, вона повинна працювати цілодобово та бути стійкою до зовнішніх впливів, короточасних перешкод у мережі живлення та похибок вимірювання датчиків. Для підвищення надійності необхідно реалізувати програмну фільтрацію виміряних значень, усереднення результатів вимірювань та перевірку достовірності даних перед прийняттям керуючих рішень. Такий підхід дозволить уникнути помилкових спрацювань, які можуть виникати внаслідок випадкових коливань показників сенсорів.

Окремою вимогою є забезпечення інформаційної взаємодії між системою та користувачем. Система повинна не лише виконувати автоматичне керування, але й надавати інформацію про свій поточний стан. Для цього передбачається використання бездротових інтерфейсів Wi-Fi та Bluetooth, інтегрованих у мікроконтролер ESP32-DEVKITV1. За допомогою цих інтерфейсів користувач повинен мати можливість отримувати повідомлення про погіршення якості повітря, спрацювання системи захисту, зміну режимів роботи та відновлення нормального функціонування. Передача інформації бездротовими каналами дозволяє реалізувати дистанційний моніторинг системи та інтегрувати її до складу сучасних систем «Розумний будинок».

Важливою вимогою є енергоефективність системи. Усі апаратні компоненти повинні характеризуватися низьким рівнем енергоспоживання, оскільки система працює в безперервному режимі. Використання мікроконтролера ESP32 є доцільним завдяки його високій продуктивності, наявності вбудованих засобів бездротового зв'язку та підтримці енергозберігаючих режимів роботи. Також необхідно забезпечити оптимізацію алгоритмів обробки даних та керування виконавчими механізмами для мінімізації споживання електричної енергії.

З точки зору апаратної реалізації система повинна мати просту конструкцію, невисоку вартість та можливість масштабування. Обрані

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компоненти повинні бути доступними на ринку, мати достатню технічну документацію та підтримувати сумісність між собою. Використання аналогових датчиків MQ-2, MQ-9 та MQ-135 дозволяє безпосередньо підключати їх до аналогових входів мікроконтролера, тоді як цифрові сенсори BME680 та SGP30 використовують інтерфейс I²C, що спрощує побудову апаратної структури системи та зменшує кількість необхідних з'єднань.

Таким чином, аналіз вимог до системи керування процесом кондиціонування показав, що розроблювана система повинна забезпечувати безперервний контроль якості зовнішнього повітря, оперативне виявлення небезпечних забруднень, автоматичне перекриття повітрозабірного каналу, передачу повідомлень користувачам засобами Wi-Fi та Bluetooth, високу надійність функціонування, енергоефективність та можливість тривалої автономної експлуатації. Виконання зазначених вимог дозволить створити ефективну комп'ютерну систему, здатну підвищити рівень безпеки та комфорту мешканців багатоквартирного будинку шляхом автоматизованого контролю процесу кондиціонування повітря.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка структури системи

Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування повинна складатись із наступних модулів і компонентів та виконувати наступні задачі:

1) Система керування процесом кондиціонування складається з плати мікроконтролера ESP32, який виконує вимірювання концентрації шкідливих газів у повітрі за допомогою датчиків, частина з яких приєднана до аналогових входів мікроконтролера, а частина до шини I2C. При перевищенні порогових значень мікроконтролер дає команду перекрити вентиляцію або притік повітря в кондиціонер за допомогою сервопривода та повідомляє мешканців або інші пристрої про небезпеку через безпроводний зв'язок Bluetooth або WiFi [4-8];

2) Датчик MQ-2 є напівпровідниковим газовим сенсором, призначеним для виявлення диму та горючих газів. Основними речовинами, на які реагує датчик, є скраплений нафтовий газ (LPG), пропан, бутан, метан, водень та продукти горіння. Завдяки високій чутливості до диму MQ-2 часто використовується в системах пожежної безпеки та контролю витоків газу. У розроблюваній системі кондиціонування датчик MQ-2 дозволяє своєчасно виявляти задимлення атмосферного повітря, пожежі поблизу будинку або аварійні витoki горючих газів. Типовий діапазон вимірювання становить від 300 до 10000 ppm.

3) Датчик MQ-9 призначений для виявлення чадного газу (CO) та горючих газів. Найбільшу чутливість він має до чадного газу, метану та скрапленого газу. Чадний газ є особливо небезпечним забруднювачем, оскільки не має кольору та запаху, але навіть невеликі концентрації можуть негативно впливати на здоров'я людини.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку Пояснююча записка			Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Дзвінник Б. М.									21	64
Перевір.		Лецишин Ю.З.										
								ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41				
Н. Контр.		Луцук Н.С.										
Затверд.		Осухівська Г.М.										

У системі кондиціонування датчик MQ-9 використовується для контролю рівня CO у зовнішньому повітрі, що особливо актуально для будинків, розташованих поблизу автомобільних доріг, котелень або промислових підприємств. Робочий діапазон вимірювання чадного газу становить приблизно від 10 до 1000 ppm.

4) Датчик MQ-135 використовується для оцінювання загальної якості повітря та контролю концентрації шкідливих газів. Він реагує на аміак (NH_3), оксиди азоту (NO_x), бензол, спирти, дим, сірчисті сполуки та вуглекислий газ. Завдяки широкому спектру виявлюваних речовин датчик часто застосовується в системах екологічного моніторингу. У проєктованій системі кондиціонування MQ-135 виконує роль основного сенсора загального рівня забруднення атмосферного повітря та дозволяє виявляти підвищення концентрації токсичних речовин, характерних для міських і промислових районів. Типовий діапазон вимірювання становить від 10 до 1000 ppm залежно від виду газу.

5) Датчик BME680 є багатофункціональним цифровим сенсором, який вимірює температуру, відносну вологість, атмосферний тиск та концентрацію летких органічних сполук (VOC). На відміну від датчиків серії MQ, він не визначає конкретний газ, а оцінює загальний рівень органічних випарів у повітрі. До таких випарів належать речовини, що виділяються побутовою хімією, фарбами, лаками, клеями, мийними засобами та продуктами горіння. На основі вимірянних параметрів може розраховуватися індекс якості повітря (IAQ – Indoor Air Quality). У системі кондиціонування BME680 використовується для комплексної оцінки стану повітря та контролю параметрів мікроклімату.

6) Датчик SGP30 є цифровим сенсором якості повітря нового покоління, призначеним для вимірювання сумарної концентрації летких органічних сполук (TVOC) та еквівалентної концентрації вуглекислого газу (eCO_2). Значення TVOC характеризує загальний рівень органічних забруднювачів у повітрі, а параметр eCO_2 дозволяє оцінити ефективність вентиляції та повітрообміну. Датчик здатний виявляти випари спиртів, розчинників, фарб, лаків, клеїв,

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

побутової хімії та інших органічних речовин. У розроблюваній системі кондиціонування SGP30 використовується для оцінювання загальної якості зовнішнього повітря та визначення рівня його забруднення органічними сполуками. Діапазон вимірювання TVOC становить від 0 до 60000 ppb, а eCO₂ – від 400 до 60000 ppm.

За цими вимогами та критеріями було розроблено структурну схему комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування рис. 2.1.

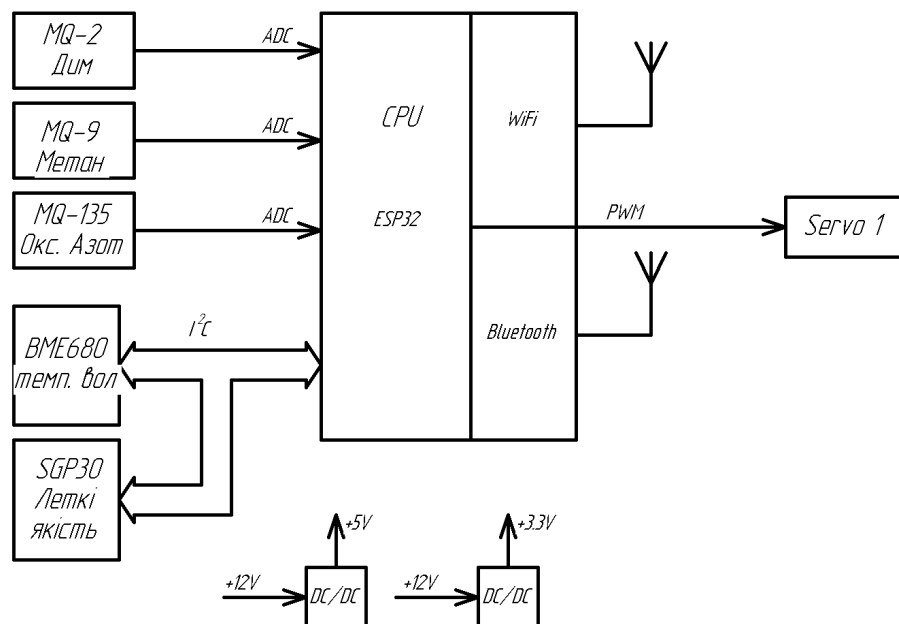


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи

Система отримує живлення від зовнішнього блоку живлення напругою +12В і в своєму складі містить стабілізатори напруги, які формують напруги +5В та +3,3В.

2.2 Обґрунтування вибору апаратної частини системи керування

2.2.1 Вибір плати мікроконтролера ESP32

Для реалізації комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку важливими є декілька

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технічних характеристик мікроконтролерної плати ESP32-DEVKITV1 (див.рис 2.2) [4-8]. Насамперед важливим параметром є наявність двоядерного 32-бітного процесора Tensilica Xtensa LX6 з тактовою частотою до 240 МГц, який забезпечує достатню обчислювальну потужність для одночасного опитування датчиків, обробки вимірюваних даних, керування сервоприводом та передачі інформації через бездротові канали зв'язку. Велике значення для проєкту має наявність аналогово-цифрових перетворювачів (ADC), оскільки датчики MQ-2, MQ-9 та MQ-135 формують аналогові сигнали, які необхідно перетворювати в цифрову форму для подальшого аналізу. Підтримка інтерфейсу I²C є необхідною для підключення цифрових датчиків BME680 та SGP30, що дозволяє використовувати декілька пристроїв на одній шині та зменшити кількість з'єднувальних провідників.

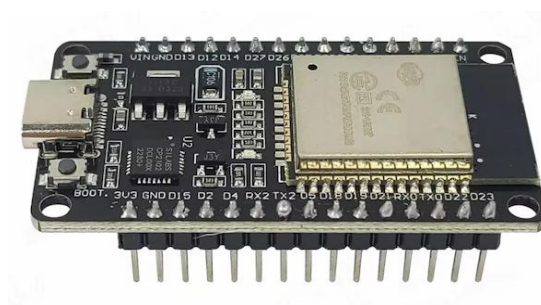


Рисунок 2.2 – Мікроконтролер ESP32

Важливою характеристикою є наявність апаратної підтримки широтно-імпульсної модуляції (PWM), яка використовується для керування сервоприводом MG995, що здійснює перекриття повітряного каналу при виявленні забруднення повітря. Значною перевагою ESP32 є вбудовані модулі Wi-Fi стандарту 802.11 b/g/n та Bluetooth версії 4.2, які дозволяють реалізувати передачу повідомлень користувачам без використання додаткових модулів зв'язку. Завдяки цьому система може оперативно інформувати мешканців про погіршення якості повітря та зміну режимів роботи кондиціонування.

Для зберігання програмного забезпечення та налаштувань використовується 4 МБ флеш-пам'яті, що є достатнім для реалізації алгоритмів

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моніторингу, керування та бездротового обміну даними. Важливою також є наявність близько 34 ліній введення-виведення, що забезпечує можливість підключення необхідних датчиків, виконавчих механізмів та допоміжних пристроїв без використання додаткових розширювачів портів. Для системи, яка працює цілодобово, важливим є відносно низьке енергоспоживання та підтримка енергозберігаючих режимів роботи, що дозволяє підвищити загальну енергоефективність пристрою.

2.2.2 Вибір датчика MQ-2

Датчик MQ-2 призначений для виявлення диму та горючих газів у повітрі (див.рис 2.3) [4-8]. Його робота базується на використанні напівпровідникового чутливого елемента на основі діоксиду олова (SnO_2), електричний опір якого змінюється залежно від концентрації газів у навколишньому середовищі. Датчик має високу чутливість до скрапленого нафтового газу (LPG), пропану, бутану, метану, водню, а також продуктів горіння та диму. Завдяки цьому він широко застосовується в системах пожежної сигналізації, виявлення витоків газу, моніторингу якості повітря та автоматизованих системах безпеки.



Рисунок 2.3 – Датчик MQ-2

У проєктованій комп'ютерній системі керування процесом кондиціонування датчик MQ-2 використовується для контролю наявності диму та горючих газів у зовнішньому повітрі. Це дозволяє своєчасно виявляти небезпечні ситуації, пов'язані з пожежами, задимленням або витокami газу

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

поблизу будинку. У випадку перевищення встановленого порогового значення концентрації забруднюючих речовин система отримує сигнал про погіршення якості повітря та може автоматично перекрити приплив зовнішнього повітря до приміщень за допомогою сервоприводу. Таким чином, використання датчика MQ-2 підвищує рівень безпеки мешканців та забезпечує захист від потрапляння до будинку шкідливих продуктів горіння і горючих газів.

2.2.3 Вибір датчика MQ-9

Датчик MQ-9 призначений для виявлення чадного газу (CO), метану (CH₄) (див.рис 2.4) [4-8], скрапленого нафтового газу (LPG) та інших горючих газів у навколишньому середовищі. Принцип його роботи базується на зміні електричного опору напівпровідникового чутливого елемента на основі діоксиду олова (SnO₂) під впливом газів, що містяться в повітрі. Особливістю датчика MQ-9 є висока чутливість до чадного газу, який є одним із найнебезпечніших продуктів неповного згоряння палива та становить серйозну загрозу для здоров'я людини навіть при відносно невеликих концентраціях.



Рисунок 2.4 – Датчик MQ-9

У комп'ютерній системі керування процесом кондиціонування датчик MQ-9 використовується для моніторингу рівня чадного газу та горючих газів у зовнішньому повітрі. Це особливо важливо для багатоквартирних будинків, розташованих поблизу автомобільних доріг із інтенсивним рухом транспорту, промислових об'єктів, котелень або інших джерел викидів продуктів згоряння. При перевищенні допустимих концентрацій чадного газу система отримує

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сигнал про погіршення якості повітря та виконує захисні дії, зокрема перекриває доступ зовнішнього повітря до системи кондиціонування за допомогою сервоприводу та надсилає відповідне повідомлення користувачеві через Wi-Fi або Bluetooth. Таким чином, використання датчика MQ-9 дозволяє своєчасно виявляти небезпечні концентрації чадного газу та інших продуктів згоряння, підвищуючи рівень безпеки мешканців і запобігаючи потраплянню забрудненого повітря до житлових приміщень.

2.2.4 Вибір датчика MQ-135

Датчик MQ-135 призначений для оцінювання загальної якості повітря та виявлення широкого спектра шкідливих газів і хімічних сполук у навколишньому середовищі (див.рис 2.5) [4-8]. Принцип його роботи ґрунтується на зміні електричного опору напівпровідникового чутливого елемента на основі діоксиду олова (SnO_2) під впливом різних газів. Датчик характеризується високою чутливістю до аміаку (NH_3), оксидів азоту (NO_x), бензолу, спиртів, диму, сірчистих сполук, вуглекислого газу (CO_2) та інших летких хімічних речовин, що можуть бути присутніми в атмосферному повітрі. Завдяки широкому спектру виявлюваних забруднювачів MQ-135 часто використовується в системах екологічного моніторингу, контролю якості повітря та автоматизації вентиляційних установок.

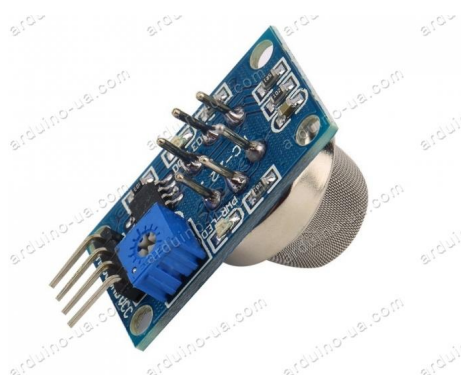


Рисунок 2.5 – Датчик MQ-135

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У комп'ютерній системі керування процесом кондиціонування багатоквартирного будинку датчик MQ-135 виконує функцію комплексного контролю рівня забруднення зовнішнього повітря. Його використання дозволяє виявляти підвищені концентрації токсичних газів, які можуть утворюватися внаслідок роботи промислових підприємств, автомобільного транспорту, котелень та інших джерел викидів. На основі показників датчика система отримує інформацію про загальний стан атмосферного повітря та може визначати появу небезпечних домішок ще до того, як вони потраплять до приміщення. У випадку перевищення встановлених порогових значень мікроконтролер ESP32 формує команду на перекриття припливного повітряного каналу за допомогою сервоприводу MG995 та надсилає повідомлення користувачеві через бездротові інтерфейси Wi-Fi і Bluetooth. Таким чином, датчик MQ-135 є одним із ключових елементів системи моніторингу якості повітря, оскільки забезпечує виявлення широкого спектра шкідливих речовин і дозволяє своєчасно реагувати на погіршення екологічної обстановки.

2.2.5 Вибір датчика BME680

Датчик BME680 призначений для комплексного контролю параметрів навколишнього середовища та оцінювання якості повітря (див.рис 2.6) [4-8]. Він поєднує в одному корпусі сенсори температури, відносної вологості, атмосферного тиску та газовий сенсор для визначення концентрації летких органічних сполук (VOC). На відміну від датчиків серії MQ, які орієнтовані на виявлення окремих груп газів, BME680 дозволяє виконувати комплексний аналіз стану повітря та мікроклімату. Газовий сенсор датчика реагує на широкий спектр летких органічних сполук, що можуть виділятися з будівельних матеріалів, лакофарбових покриттів, побутової хімії, меблів, мийних засобів, а також утворюватися внаслідок процесів горіння та промислових викидів.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.6 – Вигляд датчика BME680

У комп'ютерній системі керування процесом кондиціонування багатоквартирного будинку датчик BME680 використовується для безперервного моніторингу температури, вологості та якості зовнішнього повітря. Вимірювання температури та вологості дозволяє оцінювати параметри мікроклімату, а контроль атмосферного тиску може використовуватися для додаткового аналізу погодних умов і коригування роботи системи вентиляції. Особливе значення має вбудований газовий сенсор, який дозволяє визначати рівень летких органічних сполук та розраховувати інтегральний показник якості повітря. При підвищенні концентрації органічних забруднювачів система отримує інформацію про погіршення стану атмосферного повітря та може автоматично виконувати захисні дії, зокрема перекривати надходження зовнішнього повітря до приміщень за допомогою сервоприводу MG995.

Використання BME680 у складі системи дозволяє не лише контролювати наявність шкідливих газів, а й одночасно отримувати важливі параметри навколишнього середовища, необхідні для забезпечення комфортних умов проживання. Завдяки цифровому інтерфейсу I²C датчик легко інтегрується з мікроконтролером ESP32, забезпечуючи високу точність вимірювань, стабільність роботи та можливість довготривалого моніторингу якості повітря в режимі реального часу.

2.2.6 Вибір датчика SGP30

Датчик SGP30 призначений для моніторингу якості повітря шляхом вимірювання сумарної концентрації летких органічних сполук (TVOC – Total

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Volatile Organic Compounds) та еквівалентної концентрації вуглекислого газу (eCO_2) (див.рис 2.7) [4-8]. Він є високоточним цифровим сенсором, спеціально розробленим для використання в системах контролю навколишнього середовища, вентиляції та кондиціонування повітря. На відміну від традиційних газових датчиків серії MQ, які реагують на окремі групи газів, SGP30 виконує комплексне оцінювання якості повітря на основі аналізу широкого спектра органічних сполук, що можуть бути присутніми в атмосфері.

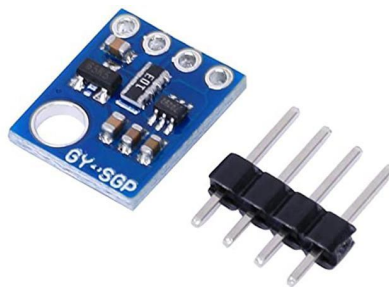


Рисунок 2.7 – Вигляд датчика SGP30

Датчик здатний виявляти випари спиртів, розчинників, лаків, фарб, клеїв, мийних засобів, парфумерної продукції, тютюнового диму та інших органічних речовин, які негативно впливають на якість повітря та самопочуття людини. Показник TVOC характеризує загальний рівень органічного забруднення атмосфери, а параметр eCO_2 дозволяє оцінювати ефективність вентиляції та ступінь насичення повітря газоподібними продуктами життєдіяльності людей і різноманітними хімічними випарами. Зростання значення eCO_2 свідчить про погіршення якості повітря та необхідність посилення вентиляції або обмеження доступу забрудненого повітря до приміщення.

У комп'ютерній системі керування процесом кондиціонування багатоквартирного будинку датчик SGP30 використовується для безперервного контролю рівня органічних забруднювачів у зовнішньому повітрі та оцінювання його загальної якості. Дані від датчика передаються до мікроконтролера ESP32 через цифровий інтерфейс I²C, де здійснюється їх аналіз і порівняння з установленими пороговими значеннями. У разі виявлення

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підвищених концентрацій летких органічних сполук або значного погіршення показника eCO_2 система формує сигнал тривоги, перекриває приплив зовнішнього повітря за допомогою сервоприводу MG995 та надсилає відповідне повідомлення користувачу через канали Wi-Fi та Bluetooth.

Використання датчика SGP30 дозволяє підвищити точність оцінювання якості повітря порівняно з використанням лише традиційних газових сенсорів. Поєднання його показників із даними датчиків MQ-2, MQ-9, MQ-135 та BME680 забезпечує комплексний моніторинг атмосферного повітря та підвищує ефективність роботи системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку.

2.3 Опис протоколу I2C

У розроблюваній комп'ютерній системі керування процесом кондиціонування багатоквартирного будинку для обміну даними між мікроконтролером ESP32-DEVKITV1 [4-8] та цифровими датчиками BME680 і SGP30 використовується послідовний протокол I²C (Inter-Integrated Circuit). Даний протокол був розроблений компанією Philips для забезпечення простого та ефективного зв'язку між електронними компонентами в межах одного пристрою. Основною перевагою I²C є можливість підключення декількох пристроїв до однієї двопровідної шини, що значно спрощує апаратну реалізацію системи та зменшує кількість необхідних з'єднань.

Передача даних за протоколом I²C здійснюється через дві сигнальні лінії: SDA (Serial Data) для передачі даних та SCL (Serial Clock) для синхронізації обміну інформацією (див.рис 2.8) . У даному проєкті мікроконтролер ESP32 виконує роль ведучого пристрою (Master), який керує процесом обміну даними та ініціює запити до підключених датчиків. Датчики BME680 і SGP30 працюють у режимі підлеглих пристроїв (Slave) та мають власні унікальні

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адреси на шині I²C, завдяки чому мікроконтролер може звертатися до кожного з них окремо через спільні лінії зв'язку.

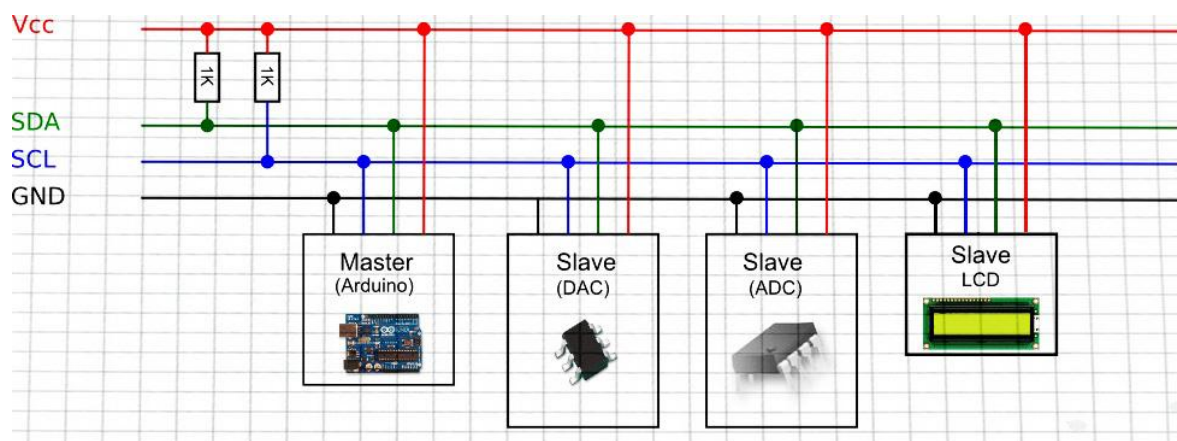


Рисунок 2.8 – Схема підключення пристроїв до шини I2C

Під час роботи системи ESP32 періодично формує запити до датчика BME680 для отримання інформації про температуру, відносну вологість, атмосферний тиск та рівень летких органічних сполук. Одночасно через ту саму шину здійснюється обмін даними з датчиком SGP30, який передає значення сумарної концентрації летких органічних сполук (TVOC) та еквівалентної концентрації вуглекислого газу (eCO₂). Отримані дані використовуються для оцінювання якості зовнішнього повітря та прийняття рішень щодо подальшої роботи системи кондиціонування.

Використання протоколу I²C у даному проєкті дозволяє значно спростити схему підключення датчиків, оскільки для роботи декількох цифрових пристроїв необхідні лише дві сигнальні лінії незалежно від їх кількості. Це зменшує навантаження на входи-виходи мікроконтролера, підвищує надійність роботи системи та забезпечує можливість подальшого розширення функціональності шляхом підключення додаткових цифрових сенсорів без суттєвої зміни апаратної структури. Завдяки високій швидкості обміну даними, простоті реалізації та широкій підтримці з боку мікроконтролера ESP32 протокол I²C є оптимальним рішенням для організації взаємодії між

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

центральною контролером та цифровими датчиками в системі моніторингу якості повітря і керування процесом кондиціонування.

2.4 Проектування алгоритму роботи комп'ютерної системи

Блок схема алгоритму роботи комп'ютерної системи обміну даними для працівників складів на базі платформи Meshtastic наведена на рис.2.9.

Робота комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування починається з ініціалізації мікроконтролера ESP32 та всіх підключених периферійних пристроїв. На цьому етапі налаштовуються аналогові входи для роботи з датчиками MQ-2, MQ-9 та MQ-135, запускається інтерфейс I²C для обміну даними з цифровими датчиками BME680 і SGP30, виконується ініціалізація сервоприводу MG995, який встановлює повітряну заслінку у відкрите положення, а також активуються бездротові інтерфейси Wi-Fi та Bluetooth. Додатково запускається вебсервер, який забезпечує можливість дистанційного перегляду поточного стану системи. Після завершення ініціалізації формується повідомлення про успішний запуск системи та відкритий стан повітряної заслінки.

Далі програма переходить до основного циклу роботи, який виконується безперервно протягом усього часу функціонування системи. У циклі здійснюється обробка запитів вебсервера та контроль часу між послідовними опитуваннями датчиків. Після завершення встановленого інтервалу опитування система виконує зчитування даних із усіх сенсорів. Від датчика MQ-2 отримуються значення, що характеризують наявність диму та горючих газів, від датчика MQ-9 – концентрацію чадного газу та продуктів згоряння, а від датчика MQ-135 – загальний рівень газового забруднення атмосферного повітря. Одночасно датчик BME680 передає інформацію про температуру, відносну вологість, атмосферний тиск та рівень летких органічних сполук, а датчик

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

SGP30 надає значення сумарної концентрації летких органічних сполук (TVOC) та еквівалентної концентрації вуглекислого газу (eCO_2).

Після отримання вимірних значень виконується аналіз якості зовнішнього повітря. Мікроконтролер порівнює показники кожного датчика з попередньо встановленими пороговими значеннями. Аналізується рівень забруднення за показниками MQ-2, MQ-9 та MQ-135, перевіряється концентрація летких органічних сполук за даними SGP30, оцінюється еквівалентна концентрація вуглекислого газу та виконується аналіз газового опору датчика VME680, який характеризує загальну якість повітря. Якщо хоча б один із контрольованих параметрів перевищує допустиме значення, система робить висновок про наявність забруднення зовнішнього повітря.

У випадку виявлення забруднення виконується перевірка поточного положення повітряної заслінки. Якщо заслінка ще не закрита, мікроконтролер подає команду сервоприводу MG995 на її закриття. Після перекриття повітрозабірного каналу формується повідомлення про виявлення забруднення зовнішнього повітря та припинення його подачі до системи кондиціонування. Це повідомлення передається через Bluetooth та може бути переглянуте користувачем через вебінтерфейс. Якщо заслінка вже перебуває у закритому положенні, додаткові дії не виконуються, а система продовжує моніторинг стану навколишнього середовища.

Якщо після аналізу встановлено, що всі показники перебувають у межах допустимих значень, система вважає повітря придатним для використання. У цьому випадку перевіряється стан заслінки. Якщо вона була закрита раніше внаслідок погіршення якості повітря, сервопривод отримує команду на її відкриття. Після відкриття заслінки формується повідомлення про нормалізацію якості повітря та відновлення припливу зовнішнього повітря до системи кондиціонування. Якщо заслінка вже знаходиться у відкритому положенні, додаткових дій не виконується.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

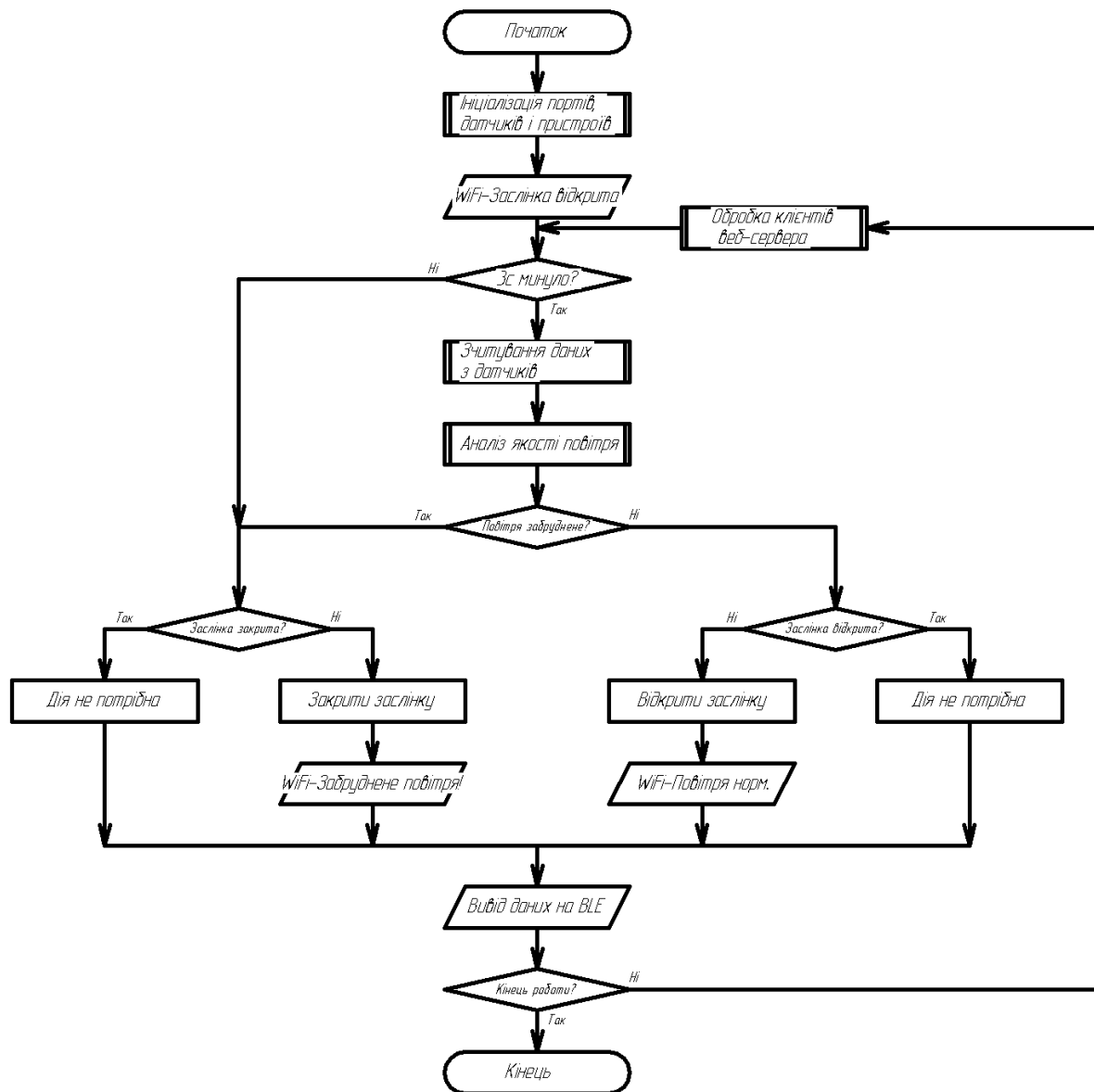


Рисунок 2.9 – Блок схема алгоритму роботи комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування

Після завершення аналізу та можливого керування заслінкою система виводить усі поточні значення датчиків до послідовного порту Serial для діагностики та одночасно передає необхідну інформацію через Bluetooth і вебсервер. Користувач може переглядати значення концентрацій забруднювачів, параметри мікроклімату та поточний стан системи в режимі реального часу. Після цього цикл роботи завершується, і програма повертається до початку головного циклу, де процес моніторингу та керування повторюється

знову. Таким чином забезпечується безперервний контроль якості зовнішнього повітря, автоматичне перекриття припливного каналу при виникненні небезпечних умов та своєчасне інформування користувачів про зміни стану навколишнього середовища.

2.5 Опис використовуваних бібліотек

Для реалізації програмного забезпечення комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку використовується набір спеціалізованих бібліотек, які забезпечують взаємодію мікроконтролера ESP32 з датчиками, виконавчими механізмами та засобами бездротового зв'язку. Використання готових бібліотек значно спрощує процес розробки програмного забезпечення, забезпечує надійну роботу периферійних пристроїв та дозволяє зосередитися на реалізації алгоритмів керування системою.

Бібліотека `Arduino.h` є базовою бібліотекою середовища розробки `Arduino` та автоматично підключається до більшості проєктів. Вона містить основні типи даних, функції керування портами введення-виведення, засоби роботи з часом, послідовним інтерфейсом та іншими апаратними ресурсами мікроконтролера. Саме ця бібліотека забезпечує доступ до функцій `setup()`, `loop()`, `digitalWrite()`, `digitalRead()`, `analogRead()`, `delay()`, `millis()` та багатьох інших, які використовуються для організації роботи всієї системи. Без використання `Arduino.h` функціонування програмного коду в середовищі `Arduino IDE` було б неможливим.

Бібліотека `Wire.h` реалізує підтримку протоколу `I2C` (Inter-Integrated Circuit) і використовується для обміну даними між мікроконтролером `ESP32` та цифровими датчиками `BME680` і `SGP30`. Вона забезпечує формування службових сигналів шини `I2C`, передачу та приймання даних, адресацію пристроїв і синхронізацію обміну інформацією. Завдяки бібліотеці `Wire.h`

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

декілька цифрових пристроїв можуть працювати на одній двопровідній шині, використовуючи лише лінії SDA та SCL. У даному проєкті ця бібліотека дозволяє отримувати дані про температуру, вологість, атмосферний тиск, концентрацію летких органічних сполук та еквівалентну концентрацію вуглекислого газу.

Бібліотека WiFi.h забезпечує підтримку бездротового мережевого інтерфейсу Wi-Fi, який вбудований у мікроконтролер ESP32. За допомогою цієї бібліотеки реалізується створення точки доступу Wi-Fi, підключення до існуючої мережі або організація обміну даними через бездротовий інтерфейс. У розроблюваній системі бібліотека використовується для передачі інформації про якість повітря та поточний стан системи кондиціонування користувачам через локальну бездротову мережу. Крім того, вона дозволяє реалізувати віддалений моніторинг роботи системи за допомогою веббраузера або мобільного пристрою.

Бібліотека WebServer.h використовується для створення вбудованого вебсервера на базі ESP32. Вона дозволяє формувати вебсторінки та передавати їх користувачу через мережу Wi-Fi. У даному проєкті вебсервер відображає поточні значення датчиків MQ-2, MQ-9, MQ-135, BME680 та SGP30, а також інформує про стан заслінки та рівень забруднення зовнішнього повітря. Використання цієї бібліотеки дає можливість здійснювати контроль системи за допомогою будь-якого пристрою з веббраузером без необхідності встановлення спеціального програмного забезпечення.

Бібліотека BluetoothSerial.h забезпечує підтримку бездротового інтерфейсу Bluetooth Classic, який інтегрований у мікроконтролер ESP32. Вона дозволяє організувати послідовний обмін даними між мікроконтролером та смартфоном, планшетом або персональним комп'ютером. У системі кондиціонування Bluetooth використовується для передачі повідомлень про погіршення якості повітря, спрацювання захисного алгоритму або відновлення нормального режиму роботи. Завдяки використанню цієї бібліотеки користувач

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

може оперативно отримувати інформацію про стан системи навіть без підключення до мережі Wi-Fi.

Бібліотека ESP32Servo.h призначена для керування сервоприводами за допомогою мікроконтролера ESP32. На відміну від стандартної бібліотеки Servo, яка орієнтована переважно на плати Arduino, ESP32Servo повністю адаптована до апаратної архітектури ESP32 та використовує вбудовані апаратні таймери й модулі генерації ШІМ-сигналів. У проєкті дана бібліотека використовується для керування сервоприводом MG995, який виконує функцію відкривання та закривання повітряної заслінки. Завдяки їй система може автоматично перекривати надходження зовнішнього повітря при виявленні забруднення та відновлювати приплив після нормалізації показників якості повітря.

Бібліотека Adafruit_BME680.h забезпечує взаємодію з цифровим датчиком BME680. Вона реалізує всі необхідні функції для ініціалізації датчика, налаштування режимів вимірювання та отримання значень температури, вологості, атмосферного тиску і газового опору. Бібліотека також виконує внутрішню обробку даних, що дозволяє отримувати готові результати вимірювань без необхідності працювати з низькорівневими регістрами пристрою. У даному проєкті BME680 використовується для комплексного аналізу параметрів зовнішнього повітря та оцінювання рівня летких органічних сполук.

Бібліотека Adafruit_SGP30.h призначена для роботи з цифровим датчиком якості повітря SGP30. Вона забезпечує ініціалізацію сенсора, обмін даними через інтерфейс I²C та отримання значень сумарної концентрації летких органічних сполук (TVOC) і еквівалентної концентрації вуглекислого газу (eCO₂). Бібліотека містить вбудовані алгоритми компенсації та калібрування, що дозволяє отримувати більш точні результати вимірювань. У системі кондиціонування дані від SGP30 використовуються для визначення загального

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівня органічного забруднення зовнішнього повітря та прийняття рішення щодо відкриття або закриття повітряної заслінки.

Таким чином, кожна із використаних бібліотек виконує окрему функцію в структурі програмного забезпечення системи. Бібліотеки Arduino.h та Wire.h забезпечують базову роботу мікроконтролера і протоколу I²C, WiFi.h, WebServer.h та BluetoothSerial.h реалізують бездротовий обмін даними, ESP32Servo.h керує виконавчим механізмом, а Adafruit_BME680.h і Adafruit_SGP30.h забезпечують отримання інформації від цифрових датчиків якості повітря. Сукупне використання цих бібліотек дозволяє реалізувати повноцінну систему автоматичного моніторингу та керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку.

2.6 UML-діаграма станів

UML-діаграма станів (див.рис 2.10) відображає логіку функціонування комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку та показує послідовність переходів між основними станами системи під час її роботи. Початковим станом є запуск системи, під час якого виконується ініціалізація мікроконтролера ESP32, налаштування портів введення-виведення, запуск інтерфейсу I²C, ініціалізація датчиків BME680 і SGP30, підключення сервоприводу MG995, активація модулів Wi-Fi та Bluetooth, а також запуск вбудованого вебсервера. Після завершення всіх процедур система переходить у стан готовності до роботи, при цьому повітряна заслінка встановлюється у відкрите положення для забезпечення надходження зовнішнього повітря до системи кондиціонування.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

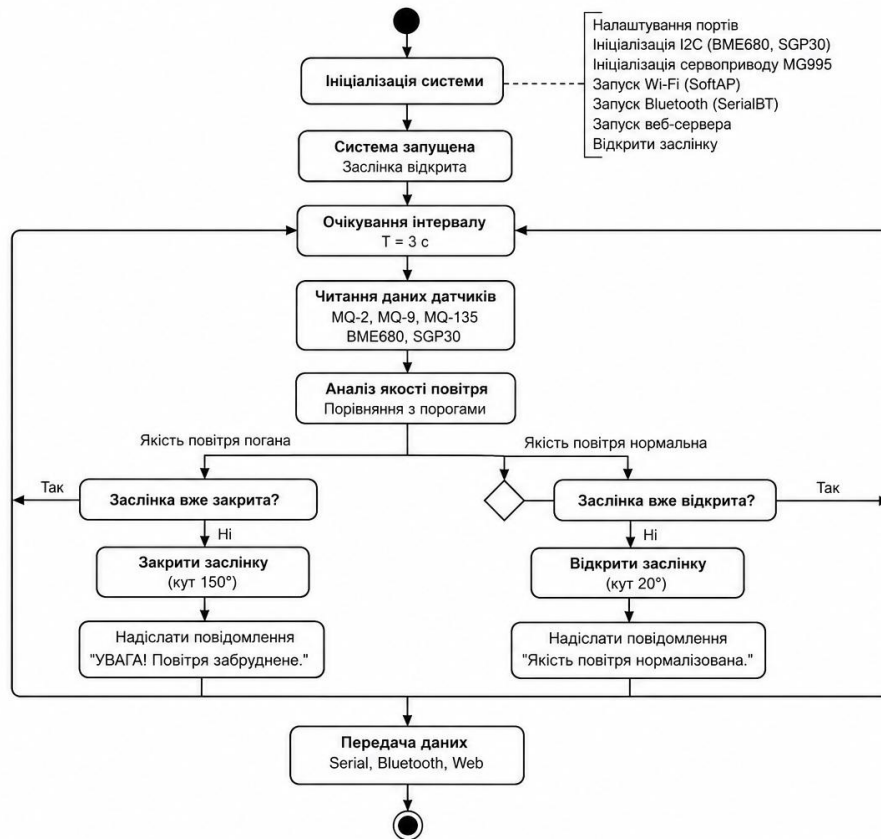


Рисунок 2.10 – UML-діаграма станів

Далі система переходить у стан очікування інтервалу опитування датчиків. Після завершення заданого часового інтервалу виконується перехід до стану зчитування даних із сенсорів MQ-2, MQ-9, MQ-135, BME680 та SGP30. На цьому етапі отримуються значення концентрацій газів, продуктів горіння, летких органічних сполук, еквівалентної концентрації вуглекислого газу, а також параметри температури, вологості та атмосферного тиску. Після завершення збору інформації система переходить до стану аналізу якості повітря, у якому виконується порівняння отриманих значень із встановленими пороговими рівнями.

Результатом аналізу є прийняття одного з двох можливих рішень. Якщо показники свідчать про нормальну якість зовнішнього повітря, система перевіряє стан повітряної заслінки. У випадку, коли заслінка вже відкрита, жодних додаткових дій не виконується, а система повертається до циклу моніторингу. Якщо ж заслінка була закрыта раніше через забруднення повітря,

система переходить у стан відкривання заслінки, керує сервоприводом MG995 та повертає повітрязабірний канал у робочий режим. Після цього формується повідомлення про нормалізацію якості повітря та відновлення припливу зовнішнього повітря.

Якщо під час аналізу виявлено перевищення допустимих концентрацій забруднюючих речовин, система переходить до гілки аварійного реагування. Спочатку перевіряється поточний стан заслінки. Якщо вона вже закрита, система продовжує моніторинг без виконання додаткових дій. Якщо заслінка відкрита, відбувається перехід у стан її закривання. Сервопривід MG995 повертає заслінку у положення, яке перекриває доступ зовнішнього повітря до системи кондиціонування. Після цього формується попереджувальне повідомлення про виявлення забруднення та активацію захисного режиму роботи.

Незалежно від результатів аналізу після виконання необхідних дій система переходить у стан передачі даних. На цьому етапі поточні показники датчиків, інформація про якість повітря та стан заслінки передаються через послідовний інтерфейс Serial, канал Bluetooth та вебсервер Wi-Fi. Це забезпечує можливість віддаленого моніторингу роботи системи користувачем у режимі реального часу. Після завершення передачі даних система повертається до стану очікування наступного циклу опитування датчиків, утворюючи безперервний цикл моніторингу та керування.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Моделювання роботи системи

Моделювання та тестування розробленої системи виконуємо в середовищі онлайн симулятора <https://www.circuito.io/>. Який призначений для симуляції роботи плат Arduino та ESP32 з мікроконтролерами. Для початку тестування симуляції приєднуємо датчики BME680 та SGP30, які приєднуються на шину I2C, (див. рис. 3.1).

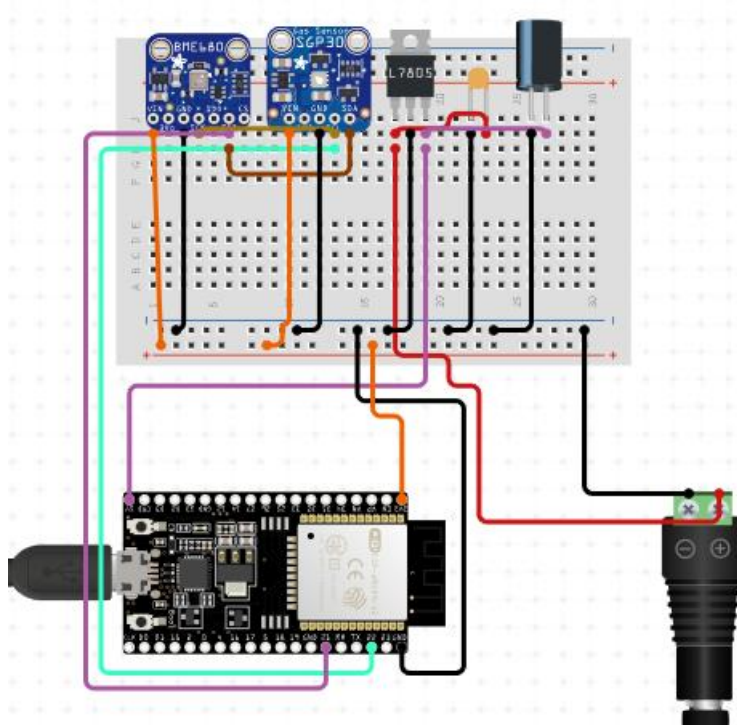


Рисунок 3.1 – Приєднання датчиків BME680 та SGP30

При підключенні датчиків до шини I2C враховуємо, що їм необхідно задати різні адреси, щоб не було конфліктів при обміні даними, а також що шина I2C потребує 2 резистори підтяжки до напруги живлення.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку Пояснююча записка			Літ.	Арк.	Акрушів		
Розроб.		Дзвінник Б. М.									42	64
Перевір.		Лецишин Ю.З.										
Н. Контр.		Луцук Н.С.										
Затверд.		Осухівська Г.М.										
					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41							

Наступник кроком приєднуємо до плати ESP32 датчики MQ-2, MQ-9, MQ-135 (див. рис. 3.2)

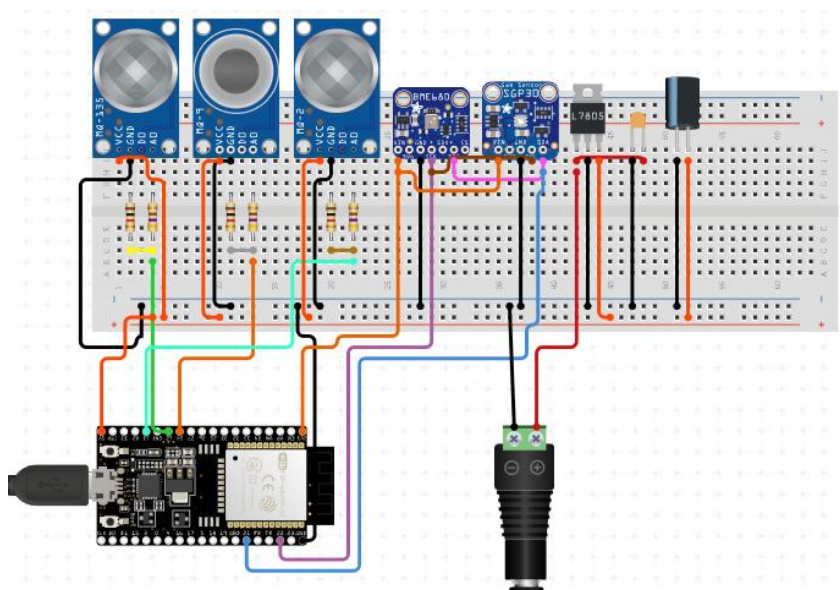


Рисунок 3.2 – Приєднання датчиків MQ-2, MQ-9, MQ-135

Особливістю цих датчиків є те що вони мають приєднуватись до аналогових входів АЦП оскільки ці датчики генерують аналогові сигнали, які пропорційні вимірюванам концентраціям газів у повітрі.

Наступний крок це приєднання сервоприводу до плати ESP32 (див. рис. 3.3).

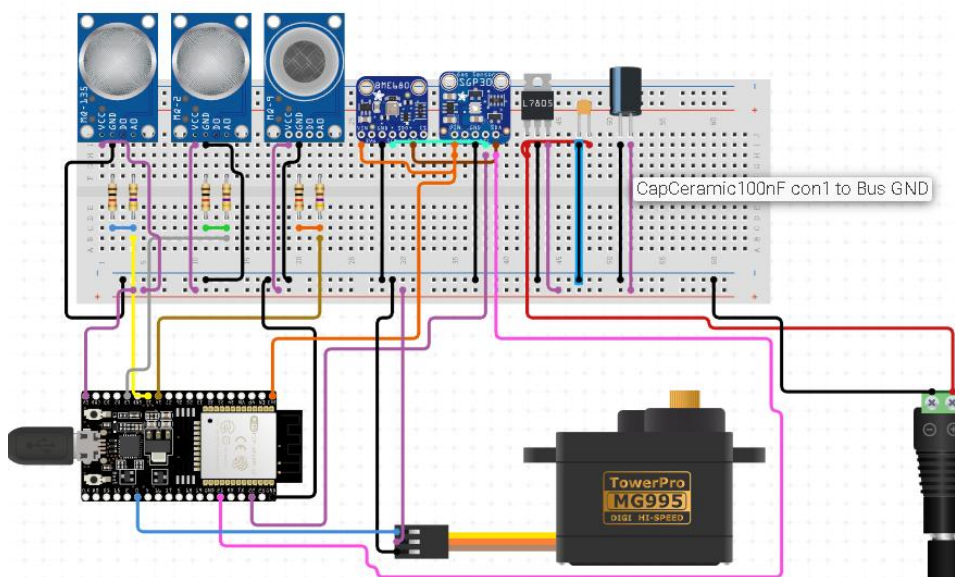


Рисунок 3.3 – Приєднання сервопривода

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Серіопривід керується сигналом PWM від мікроконтролера, і відповідно відкриває або закриває клапан вентиляції чи зовнішнього припливу кондиціонера.

3.2 Опис коду програми роботи системи

Програмний код для мікроконтролера ESP32 складається з кількох основних частин: підключення бібліотек, оголошення об'єктів і змінних, налаштування апаратних виводів, ініціалізація системи у функції `setup()`, основний цикл роботи `loop()`, зчитування даних із датчиків, аналіз якості повітря, керування сервоприводом, передача повідомлень через Bluetooth та Wi-Fi, а також формування вебсторінки для перегляду стану системи.

На початку програми підключаються необхідні бібліотеки:

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <BluetoothSerial.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <Adafruit_BME680.h>
#include <Adafruit_SGP30.h>
```

Рисунок 3.4 – Лістинг команд, підключаються необхідні бібліотеки

Бібліотека `Arduino.h` забезпечує базові функції середовища Arduino, зокрема роботу з портами, затримками, таймерами та послідовним портом. Бібліотека `Wire.h` використовується для роботи з інтерфейсом I²C, через який до ESP32 підключені цифрові датчики BME680 і SGP30. Бібліотеки `WiFi.h` та `WebServer.h` забезпечують створення Wi-Fi точки доступу та вебсторінки для перегляду даних системи. `BluetoothSerial.h` використовується для передавання повідомлень через Bluetooth. Бібліотека `ESP32Servo.h` потрібна для керування сервоприводом MG995, а `Adafruit_BME680.h` і

Adafruit_SGP30.h забезпечують роботу з відповідними датчиками якості повітря.

Далі задаються параметри Wi-Fi мережі, яку створює мікроконтролер ESP32:

```
const char* ssid = "AirControl_ESP32";  
const char* password = "12345678";
```

У цьому фрагменті вказується назва бездротової мережі та пароль доступу. ESP32 працює як точка доступу, тому користувач може підключитися до цієї мережі зі смартфона або комп'ютера та переглянути вебсторінку з поточними показниками датчиків.

Після цього створюються об'єкти для роботи з вебсервером, Bluetooth, сервоприводом і цифровими датчиками:

```
WebServer server(80);  
BluetoothSerial SerialBT;  
Servo servoMD;  
Adafruit_BME680 bme;  
Adafruit_SGP30 sgp;
```

Рисунок 3.5 – Лістинг команд, створюються об'єкти для роботи з вебсервером

Об'єкт `server(80)` створює вебсервер, який працює на стандартному HTTP-порту 80. Об'єкт `SerialBT` використовується для Bluetooth-зв'язку. Об'єкт `servoMD` керує сервоприводом MG995. Об'єкти `bme` та `sgp` відповідають за обмін даними з датчиками BME680 і SGP30.

Наступна частина програми визначає пін підключення сервоприводу та аналогових газових датчиків:

```
#define SERVOMD_PIN_SIG      0  
  
#define MQ135_3V3_PIN_AOUT   12  
#define MQ9_3V3_PIN_AOUT    14  
#define MQ2_3V3_PIN_AOUT    13
```

Рисунок 3.6 – Лістинг команд, підключення сервоприводу та аналогових газових датчиків

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сервопривід MG995 підключений до GPIO0, а датчики MQ-135, MQ-9 і MQ-2 підключені до аналогових входів GPIO12, GPIO14 і GPIO13 відповідно. Через ці входи мікроконтролер зчитує аналогові значення напруги, які змінюються залежно від концентрації газів у повітрі. Варто врахувати, що на ESP32 ці піни належать до групи ADC2, яка може працювати нестабільно при активному Wi-Fi, тому в реальному пристрої бажано використовувати ADC1-піни, наприклад GPIO32, GPIO33, GPIO34 або GPIO35.

Положення повітряної заслінки задається такими константами:

```
const int servoOpenPosition = 20;
const int servoClosePosition = 150;
```

Значення 20 відповідає відкритому положенню заслінки, коли зовнішнє повітря може надходити до системи кондиціонування. Значення 150 відповідає закритому положенню, коли сервопривід повертає заслінку та перекриває повітрозабірний канал.

Для визначення небезпечного рівня забруднення задаються порогові значення:

```
const int MQ2_LIMIT = 2200;
const int MQ9_LIMIT = 2200;
const int MQ135_LIMIT = 2200;

const uint16_t TVOC_LIMIT = 1000;
const uint16_t ECO2_LIMIT = 1500;
const float GAS_LIMIT = 50000;
```

Рисунок 3.7 – Лістинг команд, задаються порогові значення

Пороги для MQ-датчиків задані у вигляді цифрових значень АЦП. Якщо показник датчика перевищує встановлений ліміт, система вважає, що в повітрі є небезпечне забруднення. Для SGP30 задано поріг TVOC 1000 ppb і eCO₂ 1500 ppm. Для BME680 використовується поріг газового опору: при погіршенні якості повітря газовий опір сенсора зазвичай зменшується, тому низьке значення може свідчити про підвищений рівень летких органічних сполук.

Поточні значення датчиків зберігаються у змінних:

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		


```

int mq2Value = 0;
int mq9Value = 0;
int mq135Value = 0;

float temperature = 0;
float humidity = 0;
float pressure = 0;
float gasResistance = 0;

uint16_t tvoc = 0;
uint16_t eco2 = 400;

bool airPolluted = false;
bool damperClosed = false;

```

Рисунок 3.8 – Лістинг команд, поточні значення датчиків зберігаються у змінних

Змінні `mq2Value`, `mq9Value` та `mq135Value` зберігають аналогові показники газових сенсорів. Змінні `temperature`, `humidity`, `pressure` і `gasResistance` використовуються для параметрів BME680. Змінні `tvoc` і `eco2` містять показники SGP30. Логічна змінна `airPolluted` показує, чи виявлено забруднення повітря, а `damperClosed` зберігає поточний стан заслінки.

Функція відкривання заслінки має такий вигляд:

```

void openDamper() {
    servoMD.attach(SERVOMD_PIN_SIG);
    servoMD.write(servoOpenPosition);
    delay(700);
    servoMD.detach();
    damperClosed = false;
}

```

Рисунок 3.9 – Лістинг команд, відкривання заслінки

У цій функції сервопривід підключається до керуючого піна, повертається в положення відкриття, після чого від'єднується командою `detach()`. Це дозволяє зменшити споживання енергії. Після відкриття змінна `damperClosed` набуває значення `false`.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція закривання заслінки працює аналогічно:

```
void closeDamper() {  
    servoMD.attach(SERVOMD_PIN_SIG);  
    servoMD.write(servoClosePosition);  
    delay(700);  
    servoMD.detach();  
    damperClosed = true;  
}
```

Рисунок 3.10 – Лістинг команд, закривання заслінки

Вона повертає сервопривід у положення закриття, внаслідок чого приплив зовнішнього повітря перекривається. Після цього змінна `damperClosed` встановлюється в `true`.

Зчитування даних із датчиків виконується у функції `readSensors()`:

```
void readSensors() {  
    mq2Value = analogRead(MQ2_3V3_PIN_AOUT);  
    mq9Value = analogRead(MQ9_3V3_PIN_AOUT);  
    mq135Value = analogRead(MQ135_3V3_PIN_AOUT);  
  
    if (bme.performReading()) {  
        temperature = bme.temperature;  
        humidity = bme.humidity;  
        pressure = bme.pressure / 100.0;  
        gasResistance = bme.gas_resistance;  
    }  
  
    if (sgp.IAQmeasure()) {  
        tvoc = sgp.TVOC;  
        eco2 = sgp.eCO2;  
    }  
}
```

Рисунок 3.11 – Лістинг команд, зчитування даних із датчиків

Для передавання повідомлень використовується окрема функція:

```
void sendMessage(String message) {  
    Serial.println(message);  
    SerialBT.println(message);  
}
```

Ця функція одночасно виводить повідомлення в Serial Monitor і передає його через Bluetooth. Тому користувач бачить повідомлення на телефоні.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Спочатку функція зчитує значення з датчиків MQ-2, MQ-9 та MQ-135 за допомогою `analogRead()`. Потім виконується опитування BME680. Якщо вимірювання успішне, програма зберігає температуру, вологість, тиск і газовий опір. Далі опитується SGP30, який передає значення TVOC та eCO₂. Аналіз якості повітря виконується у функції `analyzeAirQuality()`:

```
void analyzeAirQuality() {
    airPolluted = false;

    if (mq2Value > MQ2_LIMIT) airPolluted = true;
    if (mq9Value > MQ9_LIMIT) airPolluted = true;
    if (mq135Value > MQ135_LIMIT) airPolluted = true;
    if (tvoc > TVOC_LIMIT) airPolluted = true;
    if (eco2 > ECO2_LIMIT) airPolluted = true;

    if (gasResistance > 0 && gasResistance < GAS_LIMIT) airPolluted = true;
}
```

Рисунок 3.12 – Лістинг команд, аналіз якості повітря

На початку змінна `airPolluted` встановлюється в `false`, тобто система вважає повітря нормальним. Далі кожен показник порівнюється зі своїм порогом. Якщо хоча б один із параметрів перевищує допустиме значення, змінна `airPolluted` переходить у стан `true`. Тобто повітря забруднене і його потрібно перекрити.

Керування системою реалізовано у функції `controlSystem()`:

```
void controlSystem() {
    if (airPolluted && !damperClosed) {
        closeDamper();
        sendMessage("УВАГА! Виявлено забруднення зовнішнього повітря. Приплив перекрито.");
    }

    if (!airPolluted && damperClosed) {
        openDamper();
        sendMessage("Якість повітря нормалізована. Приплив зовнішнього повітря відкрито.");
    }
}
```

Рисунок 3.13 – Лістинг команд, керування системою

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо повітря забруднене, а заслінка ще відкрита, система закриває її та надсилає попередження користувачу. Якщо повітря нормалізувалося, а заслінка була закрита, система відкриває її та повідомляє про відновлення припливу зовнішнього повітря. Якщо стан заслінки вже відповідає стану повітря, додаткові дії не виконуються.

Для відображення інформації у браузері використовується функція формування вебсторінки:

```
String createWebPage() {
    String page = "<html><head><meta charset='UTF-8'>";
    page += "<title>ESP32 Air Control</title></head><body>";
    page += "<h2>Система керування кондиціонуванням</h2>";

    page += "<p>MQ-2: " + String(mq2Value) + "</p>";
    page += "<p>MQ-9: " + String(mq9Value) + "</p>";
    page += "<p>MQ-135: " + String(mq135Value) + "</p>";

    page += "<p>Температура: " + String(temperature) + " °C</p>";
    page += "<p>Вологість: " + String(humidity) + " %</p>";
    page += "<p>Тиск: " + String(pressure) + " hPa</p>";
    page += "<p>Газовий опір BME680: " + String(gasResistance) + " Ohm</p>";

    page += "<p>TVOC: " + String(tvoc) + " ppb</p>";
    page += "<p>eCO2: " + String(eco2) + " ppm</p>";

    page += "<h3>Стан повітря: ";
    page += airPolluted ? "ЗАБРУДНЕНЕ" : "НОРМАЛЬНЕ";
    page += "</h3>";

    page += "<h3>Стан заслінки: ";
    page += damperClosed ? "ЗАКРИТА" : "ВІДКРИТА";
    page += "</h3>";

    page += "</body></html>";
    return page;
}
```

Рисунок 3.14 – Лістинг команд, відображення інформації у браузері

Ця функція створює HTML-сторінку, на якій відображаються всі поточні показники датчиків, стан повітря та положення заслінки. Користувач може

підключитися до Wi-Fi мережі ESP32 і відкрити IP-адресу мікроконтролера у браузері, щоб переглянути стан системи.

Функція `handleRoot()` відповідає за обробку запиту до вебсервера:

```
void handleRoot() {  
    server.send(200, "text/html", createWebPage());  
}
```

Коли користувач відкриває сторінку ESP32 у браузері, сервер надсилає HTML-код, сформований функцією `createWebPage()`.

Основне налаштування системи виконується у функції `setup()`:

```
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
    delay(1000);  
  
    Serial.println("Запуск системи кондиціонування...");  
  
    analogReadResolution(12);  
  
    servoMD.attach(SERVOMD_PIN_SIG);  
    servoMD.write(servoOpenPosition);  
    delay(700);  
    servoMD.detach();  
  
    Wire.begin();  
}
```

Рисунок 3.15 – Лістинг команд, основне налаштування системи

На початку запускається послідовний порт зі швидкістю 115200 бод. Далі задається 12-бітна роздільна здатність АЦП ESP32, тобто аналогові значення будуть знаходитися в діапазоні від 0 до 4095. Після цього сервопривід встановлює заслінку у відкрите положення, а інтерфейс I²C запускається командою `Wire.begin()`.

Далі у `setup()` ініціалізується датчик BME680:

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

if (!bme.begin()) {
    Serial.println("Помилка: датчик BME680 не знайдено!");
} else {
    Serial.println("BME680 підключено.");
    bme.setTemperatureOversampling(BME680_OS_8X);
    bme.setHumidityOversampling(BME680_OS_2X);
    bme.setPressureOversampling(BME680_OS_4X);
    bme.setGasHeater(320, 150);
}

```

Рисунок 3.16 – Лістинг команд, ініціалізується датчик BME680

Якщо датчик не знайдено на шині I²C, у Serial Monitor виводиться повідомлення про помилку. Якщо датчик успішно підключено, задаються параметри точності вимірювання температури, вологості, тиску та нагрівача газового сенсора.

Після цього ініціалізується датчик SGP30:

```

if (!sgp.begin()) {
    Serial.println("Помилка: датчик SGP30 не знайдено!");
} else {
    Serial.println("SGP30 підключено.");
}

```

Рисунок 3.17 – Лістинг команд, ініціалізується датчик SGP30

Якщо SGP30 не виявлено, програма повідомляє про помилку. Якщо датчик працює правильно, система продовжує запуск.

Далі активується Bluetooth і Wi-Fi:

```

SerialBT.begin("ESP32_Air_Control");
Serial.println("Bluetooth активовано.");

WiFi.softAP(ssid, password);
Serial.print("Wi-Fi точка доступу створена. IP: ");
Serial.println(WiFi.softAPIP());

```

Рисунок 3.18 – Лістинг команд, активується Bluetooth і Wi-Fi

Bluetooth-пристрій отримує назву ESP32_Air_Control. ESP32 також створює Wi-Fi точку доступу з назвою, заданою в змінній ssid. IP-адреса точки доступу виводиться в Serial Monitor.

Після цього запускається вебсервер:

```
server.on("/", handleRoot);  
server.begin();  
  
sendMessage("Система запущена. Заслінка відкрита.");  
}
```

Рисунок 3.19 – Лістинг команд, запускається вебсервер

Команда `server.on("/", handleRoot)` вказує, що при зверненні до головної сторінки потрібно викликати функцію `handleRoot()`. Команда `server.begin()` запускає вебсервер. Після завершення налаштування система надсилає повідомлення про запуск і відкритий стан заслінки.

Головний цикл програми має такий вигляд:

```
void loop() {  
    server.handleClient();  
  
    unsigned long currentMillis = millis();  
  
    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {  
        previousMillis = currentMillis;  
  
        readSensors();  
        analyzeAirQuality();  
        controlSystem();  
    }  
}
```

Рисунок 3.20 – Лістинг команд, головний цикл програми

У циклі постійно виконується обробка клієнтів вебсервера за допомогою `server.handleClient()`. Далі за допомогою функції `millis()` перевіряється, чи минув заданий інтервал опитування датчиків. Якщо інтервал минув, програма зчитує дані, аналізує якість повітря та керує заслінкою.

Наприкінці циклу результати вимірювань виводяться у Serial Monitor:

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

Serial.println("----- Дані датчиків -----");
Serial.println("MQ-2: " + String(mq2Value));
Serial.println("MQ-9: " + String(mq9Value));
Serial.println("MQ-135: " + String(mq135Value));
Serial.println("Температура: " + String(temperature));
Serial.println("Вологість: " + String(humidity));
Serial.println("Тиск: " + String(pressure));
Serial.println("Газовий опір BME680: " + String(gasResistance));
Serial.println("TVOC: " + String(tvoc));
Serial.println("eCO2: " + String(eco2));
Serial.println(airPolluted ? "Стан: забруднення" : "Стан: норма");
}
}

```

Рисунок 3.21 – Лістинг команд, результати вимірювань виводяться у Serial Monitor

Цей фрагмент використовується для налагодження та контролю роботи системи. Він дозволяє бачити поточні значення всіх датчиків, стан повітря та результат роботи алгоритму. Розроблена програма циклічно виконує моніторинг зовнішнього повітря, порівнює показники з допустимими межами, автоматично перекриває або відкриває повітряну заслінку та інформує користувача через Serial Monitor, Bluetooth і вебінтерфейс.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Долікарська допомога при опіках

Опіки є одним із найпоширеніших видів травматичних ушкоджень, що виникають унаслідок дії на тканини організму високої температури, хімічних речовин, електричного струму або різних видів випромінювання. Вони можуть призводити до пошкодження шкіри, слизових оболонок та глибоких тканин, викликати сильний біль, розвиток шоку, інтоксикацію організму та інші небезпечні ускладнення. Тому правильне та своєчасне надання долікарської допомоги при опіках має важливе значення для збереження здоров'я і життя потерпілого.

Залежно від причини виникнення розрізняють термічні, хімічні, електричні та променеві опіки. Термічні опіки виникають під впливом відкритого вогню, гарячих рідин, пари, розпечених предметів або газів. Хімічні опіки спричиняються дією кислот, лугів та інших агресивних речовин. Електричні опіки є наслідком проходження електричного струму через тіло людини, а променеві можуть виникати під впливом ультрафіолетового, інфрачервоного або радіаційного випромінювання.

Першочерговим завданням при наданні долікарської допомоги є негайне припинення дії ушкоджувального фактора. Якщо опік виник унаслідок дії полум'я, необхідно швидко загасити вогонь на одязі потерпілого шляхом накривання щільною тканиною, ковдрою або іншими підручними засобами, які обмежують доступ кисню. Якщо людина перебуває під впливом електричного струму, необхідно насамперед відключити джерело живлення або відокремити потерпілого від струмопровідних частин за допомогою сухих ізолюючих предметів, дотримуючись правил особистої безпеки.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Дзвінник Б. М.			Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку Пояснююча записка	Літ.	Арк.
Перевір.		Лецишин Ю.З.					55
							64
Н. Контр.		Луцик Н.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41	
Затверд.		Осухівська Г.М.					

У разі хімічного опіку необхідно негайно усунути контакт із хімічною речовиною та видалити забруднений одяг.

Після усунення небезпечного фактора необхідно охолодити ушкоджену ділянку. При термічних опіках обпечену поверхню слід тримати під прохолодною проточною водою протягом 10–20 хвилин. Охолодження дозволяє зменшити глибину ураження тканин, послабити біль і сповільнити розвиток набряку. При цьому не можна використовувати дуже холодну воду або лід безпосередньо на пошкодженій шкірі, оскільки це може призвести до додаткового ушкодження тканин. Після охолодження на місце опіку накладають стерильну суху пов'язку, яка захищає рану від інфікування та механічного подразнення.

Особливу увагу необхідно приділяти правилам поведінки з опіковою поверхнею. Забороняється проколівати пухирі, видаляти прилиплий одяг, змащувати рану олією, жиром, кремами, спиртом, йодом або іншими речовинами, які можуть погіршити стан потерпілого та ускладнити подальше лікування. Якщо одяг прилип до рани, його не можна відривати силою; слід обрізати тканину навколо ушкодженої ділянки та залишити прилиплі фрагменти до прибуття медичних працівників.

При хімічних опіках особливого значення набуває тривале промивання ураженої ділянки великою кількістю проточної води. Таке промивання необхідно проводити не менше 15–20 хвилин, а інколи й довше, залежно від виду речовини. Це дозволяє максимально видалити залишки агресивної речовини та зменшити її руйнівну дію на тканини. Після ретельного промивання накладають стерильну пов'язку та забезпечують потерпілому медичну допомогу.

У випадку великих опіків, коли пошкоджена значна площа поверхні тіла, потерпілий може втрачати багато рідини та перебувати в стані опікового шоку. У таких випадках необхідно забезпечити людині спокій, укрити її для запобігання переохолодженню, дати тепле пиття, якщо вона перебуває при

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

свідомості та не має протипоказань до вживання рідини, а також негайно викликати швидку медичну допомогу. Особливо небезпечними є опіки обличчя, шиї, дихальних шляхів, статевих органів, великих суглобів, а також глибокі опіки будь-якої локалізації.

Під час надання допомоги необхідно постійно контролювати стан потерпілого, стежити за його свідомістю, диханням і пульсом. У разі втрати свідомості потерпілого слід покласти у стабільне бокове положення, а при відсутності дихання та серцевої діяльності негайно розпочати серцево-легеневу реанімацію. Будь-які тяжкі опіки потребують обов'язкового медичного огляду та лікування.

Долікарська допомога при опіках полягає у швидкому припиненні дії ушкоджувального фактора, охолодженні ушкодженої поверхні, захисті рани від інфікування, підтриманні життєво важливих функцій організму та своєчасному зверненні за медичною допомогою. Правильні дії в перші хвилини після отримання опіку значно зменшують тяжкість наслідків травми, сприяють швидшому одужанню та можуть врятувати життя потерпілого.

4.2 Заходи, що покращують умови праці оператора

У сучасних умовах автоматизації виробництва та широкого використання комп'ютерної техніки значна кількість працівників виконує свої професійні обов'язки як оператори різноманітних систем керування, комп'ютерних комплексів, технологічного обладнання та інформаційних мереж. Робота оператора характеризується високим рівнем відповідальності, необхідністю постійної концентрації уваги, обробкою значного обсягу інформації та тривалим перебуванням у вимушеній робочій позі. Такі особливості праці можуть призводити до швидкої втомлюваності, зниження працездатності, виникнення професійних захворювань і підвищення ризику помилок у роботі. Тому важливим завданням охорони праці є створення оптимальних умов, які

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечують збереження здоров'я оператора, підвищення продуктивності праці та зниження негативного впливу виробничих факторів.

Одним із найважливіших заходів щодо покращення умов праці оператора є раціональна організація робочого місця. Робоче місце повинно відповідати ергономічним вимогам та забезпечувати зручне розташування всіх засобів керування, моніторів, клавіатур, документації та іншого обладнання. Робочий стіл і крісло мають бути регульованими за висотою, що дозволяє адаптувати їх до індивідуальних особливостей працівника. Правильне положення тіла під час роботи сприяє зменшенню навантаження на хребет, м'язи ший, плечового поясу та кінцівок, а також запобігає розвитку захворювань опорно-рухового апарату.

Важливу роль відіграє забезпечення належного освітлення робочого місця. Освітлення повинно бути достатнім для комфортного сприйняття інформації, але не надмірним, щоб не викликати засліплення або появу відблисків на екранах моніторів. Найкращі умови створюються при поєднанні природного та штучного освітлення. Світловий потік має бути рівномірним і не створювати різких контрастів між окремими ділянками приміщення. Для роботи з комп'ютерною технікою особливо важливо правильно розташовувати монітори відносно джерел світла, щоб уникнути перевтоми органів зору.

Значний вплив на самопочуття оператора мають параметри мікроклімату в приміщенні. Температура повітря, його вологість і швидкість руху повинні відповідати санітарно-гігієнічним нормам. Надмірна спека або холод, сухе повітря та недостатня вентиляція призводять до погіршення самопочуття, зниження концентрації уваги та швидкої втоми. Для підтримання комфортних умов використовуються системи вентиляції, кондиціонування та зволоження повітря. Регулярне провітрювання приміщень сприяє покращенню газового складу повітря та підвищенню працездатності працівників.

Особливе значення для операторської діяльності має боротьба з шумом і вібраціями. Підвищений рівень шуму негативно впливає на нервову систему людини, викликає втому, дратівливість та зниження продуктивності праці. Для

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшення шумового навантаження використовують звукоізоляційні матеріали, малошумне обладнання та раціональне планування робочих приміщень. За необхідності застосовуються індивідуальні засоби захисту органів слуху.

Важливим фактором збереження працездатності оператора є правильна організація режиму праці та відпочинку. Тривала безперервна робота призводить до перевантаження нервової системи, зорового аналізатора та опорно-рухового апарату. Тому рекомендується встановлювати регламентовані перерви, під час яких працівник може виконати вправи для очей, розминку для м'язів шиї, спини та рук, а також змінити вид діяльності. Такі заходи сприяють відновленню працездатності та профілактиці професійних захворювань.

Не менш важливим є впровадження сучасних технічних засобів автоматизації та механізації праці. Автоматизовані системи обробки інформації дозволяють зменшити обсяг рутинних операцій, знизити психоемоційне навантаження та підвищити точність виконання виробничих завдань. Використання програмного забезпечення з дружнім інтерфейсом і зручними засобами керування також сприяє зменшенню втоми оператора та зниженню ймовірності помилок.

Важливу роль у покращенні умов праці відіграють заходи психофізіологічного характеру. До них належать створення сприятливого психологічного клімату в колективі, раціональний розподіл обов'язків, запобігання надмірним стресовим навантаженням та підтримання високої мотивації працівників. Сприятлива атмосфера в колективі позитивно впливає на працездатність і зменшує ризик професійного вигорання.

Необхідною умовою безпечної роботи є також дотримання вимог електробезпеки, пожежної безпеки та санітарно-гігієнічних норм. Усе обладнання повинно бути технічно справним, мати належне заземлення та проходити своєчасне технічне обслуговування. Працівники повинні бути ознайомлені з правилами безпечної експлуатації обладнання та порядком дій у надзвичайних ситуаціях.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Покращення умов праці оператора досягається шляхом раціональної організації робочого місця, забезпечення оптимального освітлення та мікроклімату, зниження рівня шуму, впровадження ергономічних рішень, дотримання режиму праці та відпочинку, використання сучасних засобів автоматизації та створення сприятливого психологічного середовища. Комплексне впровадження цих заходів забезпечує збереження здоров'я працівників, підвищення ефективності їхньої роботи та створення безпечних умов праці.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було проведено аналіз сучасних систем кондиціонування та вентиляції, досліджено принципи контролю якості повітря та обґрунтовано необхідність автоматичного керування припливом зовнішнього повітря залежно від рівня його забруднення. Актуальність розробки обумовлена зростанням рівня забруднення атмосферного повітря у міських умовах, що негативно впливає на здоров'я мешканців житлових будинків та потребує застосування сучасних засобів автоматизованого моніторингу й керування системами кондиціонування.

У роботі було виконано аналіз основних видів забруднювачів атмосферного повітря, зокрема чадного газу, диму, горючих газів, летких органічних сполук та інших шкідливих речовин, які можуть надходити до приміщень через систему вентиляції та кондиціонування. Розглянуто особливості побудови сучасних інтелектуальних систем вентиляції, що використовують датчики контролю якості повітря та автоматичне керування повітряними заслінками для захисту користувачів від впливу небезпечних забруднювачів.

Для реалізації системи було обрано мікроконтролерну платформу ESP32-DEVKITV1 4MB Type-C, яка забезпечує достатню продуктивність для одночасної обробки даних від декількох сенсорів, підтримує бездротові технології Wi-Fi та Bluetooth, а також має необхідні апаратні ресурси для взаємодії з датчиками та виконавчими механізмами. Виконано обґрунтування вибору датчиків MQ-2, MQ-9, MQ-135, BME680 та SGP30, які забезпечують комплексний контроль якості повітря та дозволяють виявляти широкий спектр шкідливих газів і летких органічних сполук.

У процесі виконання роботи було розроблено структурну схему системи, алгоритм її функціонування, UML-діаграми та програмне забезпечення для мікроконтролера ESP32. Реалізований алгоритм забезпечує безперервний

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моніторинг параметрів зовнішнього повітря, аналіз отриманих даних та автоматичне прийняття рішень щодо зміни режимів роботи системи кондиціонування. У разі виявлення перевищення встановлених порогових значень концентрації забруднювачів система автоматично керує сервоприводом MG995, який перекриває приплив зовнішнього повітря до приміщення. Одночасно користувач отримує повідомлення про зміну стану системи через канали Wi-Fi та Bluetooth.

Розроблена комп'ютерна система дозволяє підвищити безпеку та комфорт мешканців багатоквартирного будинку, зменшити ризик потрапляння забрудненого повітря до житлових приміщень та забезпечити своєчасне інформування користувачів про погіршення екологічної ситуації. Використання доступних компонентів, відкритих програмних засобів та сучасних бездротових технологій робить систему перспективною для практичного впровадження в житлових будинках та об'єктах цивільної інфраструктури.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – Київ : Мінрегіон України, 2013. – 149 с.
2. ISO 16890-1:2016. Air Filters for General Ventilation – Part 1: Technical Specifications, Requirements and Classification System Based Upon Particulate Matter Efficiency (ePM). – Geneva : ISO, 2016. – 44 p.
3. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. – Shanghai : Espressif Systems, 2024. – 78 p.
4. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual. – Shanghai : Espressif Systems, 2024. – 1250 p.
5. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. – 2nd ed. – Indianapolis : Wiley, 2019. – 672 p.
6. Bosch Sensortec. BME680 Sensor Documentation URL: <https://www.bosch-sensortec.com/products/environmental-sensors/gas-sensors/bme680/> (дата звернення: 16.03.2026).
7. Sensirion. SGP30 Air Quality Sensor Documentation URL: <https://sensirion.com/products/catalog/SGP30/> (дата звернення: 16.03.2026).
8. Philips Semiconductors. The I²C-Bus Specification and User Manual. – Eindhoven : Philips Semiconductors, 2021. – 62 p.
9. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
10. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.
11. Voloskyi V., Leshchyshyn Y., Romanyshyn N., Palamar A., Tarasenko L. Method and algorithm for efficient cell balancing in the lithium-ion battery control

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

system. CEUR Workshop Proceedings, The 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT 2024), Zboriv, Ukraine, October 02-04, 2024. Vol. 3842. P. 258-267.

12. Лещишин Ю.З., Романишин Н.Р., Наконечний В.В., Паламарчук А.О. Розробка системи зв'язку як інтегрованого елементу роботизованих систем. Проблеми створення, розвитку та застосування високотехнологічних систем спеціального призначення з урахуванням досвіду антитерористичної операції. Збірник тез доповідей XXI Всеукраїнської науково-практичної конференції. Житомир, 2016. С. 102.

13. Лещишин Ю.З., Назаревич Т.О., Міська І.В. Створення вбудованих систем на базі структурно - параметричних моделей цифрових каналів зв'язку. VIII Науково-технічна конференція «Інформаційні моделі, системи та технології». Тернопіль, 2020. С. 127.

14. Leschyshyn Y., Scherbak L., Nazarevych O., Gotovych V., Tymkiv P., Shymchuk G. Multicomponent Model of the Heart Rate Variability Change-point. IEEE XVth International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH). 2019. P. 110–113.

15. Tymkiv P., Leshchyshyn Y. Algorithm Reliability of Kalman Filter Coefficients Determination for Low-Intensity Electroretinosignal. IEEE 15th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM). 2019. P.1-5.

16. Leschyshyn Y., Semchyshyn O. Periodically correlated heart rate variability detection by Neyman - Pearson criterion. 9th International Conference - The Experience of Designing and Applications of CAD Systems in Microelectronics. 2007. P. 139–140.

17. Геврик Є.О. Охорона праці. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

					КС КРБ 123.161.00.00 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А.
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

«Затверджую»

завідувач кафедри КС

_____ Осухівська Г.М.

“ 2 ” лютого 2026 р.

Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у
багатоквартирному будинку

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на __5__ листках

Вид робіт:

Кваліфікаційна робота

На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

_____ к.т.н., доц. Лецишин Ю.З.

_____ Дзвінник Б. М.

«____» _____ 2026 р.

«____» _____ 2026 р.

Тернопіль 2026

1. Назва та підстава для виконання роботи.

1.1. Комп'ютерна система керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку.

1.2. Підставою для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра (КРБ) є Наказ по Університету (№ 4/9-188 від 24.04.2026р.).

2. Виконавець.

2.1. Студент групи СІ-41 кафедри КС

Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя
Дзвінник Богдан Михайлович.

3. Мета роботи.

3.1. Метою роботи є розробити структуру та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування процесом кондиціонування у багатоквартирному будинку.

4. Склад виробу.

4.1. До складу вимірювача повинні входити:

- 1) мікроконтролер ESP32;
- 2) OLED-дисплей;
- 3) радіомодем SX1278 або SX1276;
- 4) GPS-приймач;
- 5) джерело живлення;
- 6) комплект документації.

5. Технічні вимоги.

5.1. Вимоги по призначенню.

5.1.1. Комп'ютеризована система повинна мати наступні параметри:

1) Діапазон зв'язку, °МГц	433
2) Алгоритм шифрування,	AES-256
3) Точність визначення координат, не гірше, м	5
4) Дальність зв'язку, не менше, м	2000

5.1.2. Система повинна підтримувати зв'язок з планшетом

5.1.3. Система повинна живитись напругою, В

	3,7±2
--	-------

5.2. Вимоги до умов експлуатації:

5.2.1. Кліматичні умови експлуатації мають відповідати класу ЗКЗ (або ЗК5) згідно з ДСТУ EN 60721-3-3

5.2.2. Температура експлуатації від 0 до +40°C

5.2.3. Відносна вологість до 100% при t=25°C

5.3. Конструктивні вимоги.

5.3.1. Конструювання корпусу приладу в КРБ не передбачено.

5.3.2. Для побудови системи мають бути використані сучасні компоненти з можливістю поверхневого монтажу друкованого вузла.

5.3.3. При побудові системи необхідно передбачити розміщення роз'ємів живлення і обміну даними.

5.3.4. Габаритні розміри при макетуванні, мм, не більше:

довжина	200
ширина	100
висота	100

5.3.5. Маса макету, кг, не більше

	0,3
--	-----

5.3.6. Конструкція макету повинна забезпечувати доступ до всіх комплектуючих виробів при тестуванні.

5.4. Вимоги до надійності.

5.4.1. Система повинна відповідати вимогам ДСТУ 2862-94.

5.4.2. Наробка на відмову, не менше 10000 год.

5.5. Вимоги метрології.

5.5.1. Вимірювання параметрів системи при моделюванні повинно виконуватись на універсальних вимірювальних приладах.

6. Економічні показники.

6.1. Собівартість системи повинна бути не більше 8000 грн.

7. Вимоги до документації.

7.1. Конструкторська документація повинна відповідати вимогам ЄСКД, ДСТУ та ГОСТ.

7.2. До складу документації повинно входити:

- 1) ПЗ
- 2) Структурна схема Е1
- 3) Електрична схема ЕЗ
- 4) UML-діаграми, що пояснюють роботу системи
- 5) Блок схема алгоритму роботи

8. Стадії та етапи розробки КРБ

8.1 Стадії та етапи виконання КРБ наведенні в таблиці 1.

Таблиця 1

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Робота над першим розділом «Аналіз технічного завдання»	03.02 – 15.02
3	Робота над другим розділом «ПРОЄКТНА ЧАСТИНА»	20.04 – 25.04
4	Робота над третім розділом «ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА»	26.04 – 05.05
5	Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	07.05 – 25.05
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 7.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06 – 14.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	23.06.26

9. В дане ТЗ можуть вноситись зміни по узгодженню сторін.

Додаток Б

Перелік елементів

[illegible]

[illegible]

Додаток В.

Код програми

```
#include <Arduino.h>
#include <Wire.h>
#include <WiFi.h>
#include <WebServer.h>
#include <BluetoothSerial.h>
#include <ESP32Servo.h>
#include <Adafruit_BME680.h>
#include <Adafruit_SGP30.h>

// ----- Налаштування Wi-Fi -----
const char* ssid = "AirControl_ESP32";
const char* password = "12345678";

// ----- Об'єкти -----
WebServer server(80);
BluetoothSerial SerialBT;
Servo servoMD;
Adafruit_BME680 bme;
Adafruit_SGP30 sgp;

// ----- Піни -----
#define SERVOMD_PIN_SIG 0

#define MQ135_3V3_PIN_AOUT 12
#define MQ9_3V3_PIN_AOUT 14
#define MQ2_3V3_PIN_AOUT 13

// Увага: GPIO12, 13, 14 належать до ADC2.
// При активному Wi-Fi вони можуть працювати нестабільно.
// Бажано замінити їх на ADC1: GPIO32, GPIO33, GPIO34, GPIO35.

// ----- Положення заслінки -----
const int servoOpenPosition = 20; // заслінка відкрита
const int servoClosePosition = 150; // заслінка закрита

// ----- Порогові значення -----
// Значення для MQ-сенсорів наведені умовно у вигляді ADC-рівнів.
// Їх потрібно уточнити експериментально після калібрування.
const int MQ2_LIMIT = 2200;
const int MQ9_LIMIT = 2200;
const int MQ135_LIMIT = 2200;

const uint16_t TVOC_LIMIT = 1000; // ppb
const uint16_t EC02_LIMIT = 1500; // ppm
const float GAS_LIMIT = 50000; // Ом, умовний поріг для BME680

// ----- Змінні -----
int mq2Value = 0;
int mq9Value = 0;
```

```

int mq135Value = 0;

float temperature = 0;
float humidity = 0;
float pressure = 0;
float gasResistance = 0;

uint16_t tvoc = 0;
uint16_t eco2 = 400;

bool airPolluted = false;
bool damperClosed = false;

unsigned long previousMillis = 0;
const unsigned long interval = 3000;

// ----- Функции -----
void openDamper() {
    servoMD.attach(SERVOMD_PIN_SIG);
    servoMD.write(servoOpenPosition);
    delay(700);
    servoMD.detach();
    damperClosed = false;
}

void closeDamper() {
    servoMD.attach(SERVOMD_PIN_SIG);
    servoMD.write(servoClosePosition);
    delay(700);
    servoMD.detach();
    damperClosed = true;
}

void sendMessage(String message) {
    Serial.println(message);
    SerialBT.println(message);
}

void readSensors() {
    mq2Value = analogRead(MQ2_3V3_PIN_AOUT);
    mq9Value = analogRead(MQ9_3V3_PIN_AOUT);
    mq135Value = analogRead(MQ135_3V3_PIN_AOUT);

    if (bme.performReading()) {
        temperature = bme.temperature;
        humidity = bme.humidity;
        pressure = bme.pressure / 100.0;
        gasResistance = bme.gas_resistance;
    }

    if (sgp.IAQmeasure()) {
        tvoc = sgp.TVOC;
        eco2 = sgp.eCO2;
    }
}

```

```
}
```

```
void analyzeAirQuality() {  
    airPolluted = false;
```

```
    if (mq2Value > MQ2_LIMIT) airPolluted = true;  
    if (mq9Value > MQ9_LIMIT) airPolluted = true;  
    if (mq135Value > MQ135_LIMIT) airPolluted = true;  
    if (tvoc > TVOC_LIMIT) airPolluted = true;  
    if (eco2 > ECO2_LIMIT) airPolluted = true;
```

```
    // Для BME680 зниження опору газового сенсора зазвичай означає  
    погіршення якості повітря  
    if (gasResistance > 0 && gasResistance < GAS_LIMIT) airPolluted  
= true;  
}
```

```
void controlSystem() {  
    if (airPolluted && !damperClosed) {  
        closeDamper();  
        sendMessage("УВАГА! Виявлено забруднення зовнішнього повітря.  
Приплив перекрито.");  
    }  
  
    if (!airPolluted && damperClosed) {  
        openDamper();  
        sendMessage("Якість повітря нормалізована. Приплив зовнішнього  
повітря відкрито.");  
    }  
}
```

```
String createWebPage() {  
    String page = "<html><head><meta charset='UTF-8'>";  
    page += "<title>ESP32 Air Control</title></head><body>";  
    page += "<h2>Система керування кондиціонуванням</h2>";  
  
    page += "<p>MQ-2: " + String(mq2Value) + "</p>";  
    page += "<p>MQ-9: " + String(mq9Value) + "</p>";  
    page += "<p>MQ-135: " + String(mq135Value) + "</p>";  
  
    page += "<p>Температура: " + String(temperature) + " °C</p>";  
    page += "<p>Вологість: " + String(humidity) + " %</p>";  
    page += "<p>Тиск: " + String(pressure) + " hPa</p>";  
    page += "<p>Газовий опір BME680: " + String(gasResistance) + "  
Ohm</p>";  
  
    page += "<p>TVOC: " + String(tvoc) + " ppb</p>";  
    page += "<p>eCO2: " + String(eco2) + " ppm</p>";  
  
    page += "<h3>Стан повітря: ";  
    page += airPolluted ? "ЗАБРУДНЕНЕ" : "НОРМАЛЬНЕ";  
    page += "</h3>";  
  
    page += "<h3>Стан заслінки: ";
```

```

    page += damperClosed ? "ЗАКРИТА" : "ВІДКРИТА";
    page += "</h3>";

    page += "</body></html>";
    return page;
}

void handleRoot() {
    server.send(200, "text/html", createWebPage());
}

// ----- SETUP -----
void setup() {
    Serial.begin(115200);
    delay(1000);

    Serial.println("Запуск системи кондиціонування...");

    analogReadResolution(12);

    servoMD.attach(SERVOMD_PIN_SIG);
    servoMD.write(servoOpenPosition);
    delay(700);
    servoMD.detach();

    Wire.begin();

    if (!bme.begin()) {
        Serial.println("Помилка: датчик BME680 не знайдено!");
    } else {
        Serial.println("BME680 підключено.");
        bme.setTemperatureOversampling(BME680_OS_8X);
        bme.setHumidityOversampling(BME680_OS_2X);
        bme.setPressureOversampling(BME680_OS_4X);
        bme.setGasHeater(320, 150);
    }

    if (!sgp.begin()) {
        Serial.println("Помилка: датчик SGP30 не знайдено!");
    } else {
        Serial.println("SGP30 підключено.");
    }

    SerialBT.begin("ESP32_Air_Control");
    Serial.println("Bluetooth активовано.");

    WiFi.softAP(ssid, password);
    Serial.print("Wi-Fi точка доступу створена. IP: ");
    Serial.println(WiFi.softAPIP());

    server.on("/", handleRoot);
    server.begin();

    sendMessage("Система запущена. Заслінка відкрита.");
}

```

```

}

// ----- LOOP -----
void loop() {
    server.handleClient();

    unsigned long currentMillis = millis();

    if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
        previousMillis = currentMillis;

        readSensors();
        analyzeAirQuality();
        controlSystem();

        Serial.println("----- Дані датчиків -----");
        Serial.println("MQ-2: " + String(mq2Value));
        Serial.println("MQ-9: " + String(mq9Value));
        Serial.println("MQ-135: " + String(mq135Value));
        Serial.println("Температура: " + String(temperature));
        Serial.println("Вологість: " + String(humidity));
        Serial.println("Тиск: " + String(pressure));
        Serial.println("Газовий опір BME680: " +
String(gasResistance));
        Serial.println("TVOC: " + String(tvoc));
        Serial.println("eCO2: " + String(eCO2));
        Serial.println(airPolluted ? "Стан: забруднення" : "Стан:
норма");
    }
}

```