

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Кіберфізична система "Розумна вентиляція з відстеженням алергенів"  
Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Шифр КВРКІ 2301124.23.01.27 ПЗ

Виконав здобувач III курсу, група KI2c-23-1



Владислав  
ТАРТАКОВСЬКИЙ  
Ініціали, прізвище

Підпис

Керівник

к.т.н., доцент



Катерина  
БЕРЕЗЬКА  
Ініціали, прізвище

Підпис

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання

д.т.н., професор  
Науковий ступінь, учене звання



Сергій ЛИСЕНКО  
Ініціали, прізвище

Підпис

До захисту допускаю:  
завідувач кафедри КІС  
«9» червня 2026 р.



Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

Підпис

дата

Хмельницький 2026

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)


Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КІС



Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Тартаковському Владиславу Святославовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”

Керівник проекту (роботи) Березька К.М. к.т.н., доцент.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Кіберфізична система “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”, огляд існуючих рішень та постановка завдання

Проектування кіберфізичної системи “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”

Програмно-апаратна реалізація кіберфізичної системи “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Алгоритм роботи кіберфізичної системи

Архітектура роботи системи

Апаратна та програмна реалізація

## 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання при

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Прим.
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	Викон.
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	Викон.
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	Викон.
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування розумної вентиляції з відстеженням алергенів	01.04.2026	Викон.
5	Робота над розділом 3 – проєктування системи розумної вентиляції з відстеженням алергенів	29.04.2026	Викон.
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	Викон.
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	Викон.
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

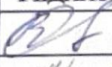

Здобувач Владислав ТАРТАКОВСЬКИЙ  
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи Катерина БЕРЕЗЬКА  
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Зм	Арк	№ док.ум	Підп.
Розробив	Тартаковський		
Перевір.	Березька		
Н. контр.	Лисенко		
Затв.	Павлова		

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ скз	Примітка
			Текстові документи			
1		КвРКІ 2301124.23.01.27 ПЗ	Пояснювальна записка	62		
			Лістинг програмного коду			
			Графічні матеріали			
2		КвРКІ 2301124.23.01.27 Е8	Алгоритм роботи	1		
			кіберфізичної системи			
3		КвРКІ 2301124.23.01.27 Е8	Архітектура роботи	1		
			системи			
4		КвРКІ 2301124.23.01.27 Е8	Апаратна та програмна	1		
			реалізація			

КвРКІ 2301124.23.01.27 ВП

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата
Розробив		Тартаковський		
Перевір.		Березька		
Н. контр.		Лисенко		
Затв.		Павлова		01.06

Відомість проекту

Літера	Аркуш	Аркушів
У	1	1
ХНУ, КІ2с-23-1		

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: “Кіберфізична система розумна вентиляція з відстеженням алергенів”.

Автор роботи: Владислав ТАРТАКОВСЬКИЙ.

Керівник роботи: Катерина БЕРЕЗЬКА.

Пояснювальна записка: 62 с., 41 рис., 9 табл., 3 дод., 54 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

АРХІТЕКТУРА, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ПРОГРАМУВАННЯ,  
СЕНСОРИ, ESP32.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробці та дослідженню “Кіберфізичної системи розумна вентиляція з відстеженням алергенів” (на відміну від звичайного кондиціонера, ця кіберфізична система аналізує склад повітря, яке надходить ззовні. Дані про рівень алергенів миттєво обробляються, і система може автоматично обмежити надходження повітря ззовні). Ця тема актуальна для забезпечення якості повітря будь-якого приміщення де перебувають люди великий проміжок часу. Також можливий контроль температури, вологості та економія електроенергії під час роботи вентиляції та загальний аналіз повітря. Якщо повітря з різними видами алергенів потрапляє у приміщення, то система аналізує і автоматично блокує потрапляння повітря зі зовнішнього середовища.

Метою роботи є дослідження предметної області на основі існуючих рішень, визначення технологій реалізації, безпосередня реалізація, тестування та обробка результатів з давачів. Для досягнення мети було визначено на основі існуючих рішень підходи створення моніторингу якості повітря у приміщенні, визначено, які давачі та пристрої будуть використовуватись, обрано мову програмування для реалізації програмного забезпечення та спроектовано інтерфейс.



Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Дослідження предметної області.....	5
1.1 Аналіз теми дослідження .....	5
1.2 Перегляд апаратних та програмних рішень для реалізації.....	11
1.3 Постановка завдання для кіберфізичної системи .....	18
1.4 Висновок .....	19
2 Проектування кіберфізичної системи “Розумна вентиляція”.....	20
2.1 Аналіз вимог .....	20
2.2 Вибір компонентів для реалізації системи .....	22
2.3 Проектування схеми та алгоритм роботи.....	33
2.4 Вибір програмної частини.....	35
2.5 Висновок .....	39
3 Реалізація та тестування кіберфізичної системи “Розумна вентиляція”.....	41
3.1 Складові частини кіберфізичної системи.....	41
3.2 Розробка системи .....	42
3.3 Тестування .....	60
3.4 Висновки .....	63
Висновки .....	64
Перелік джерел посилань .....	65
Додаток А Алгоритм роботи кіберфізичної системи .....	69
Додаток Б Архітектура роботи системи .....	70
Додаток В Апаратна та програмна реалізація.....	71
Додаток Г Лістинг коду .....	72

КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Кіберфізична система “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів” Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		ТАРТАКОВСЬКИЙ				у		2
Перевір.		БЕРЕЗЬКА						
Н.контр.		ЛИСЕНКО						
Затвер.		ПАВЛОВА		01/06				ХНУ КІ2с-23-1

## ВСТУП

Здавна алергени негативно впливали на здоров'я та працездатність людини. Алергія та астма часто стають постійними супутниками для мільйонів людей по всьому світу, впливаючи на їхнє повсякденне життя, продуктивність і навіть настрої. Коли в повітрі зростає концентрація пилку, а в приміщеннях накопичується дрібний пил, шерсть тварин або спори плісняви, дихати стає складніше, а алергічні реакції можуть посилюватися. Окрім забруднення з вулиці, приміщення містять внутрішні забруднювачі: виділення з меблів, будівельних матеріалів, побутових миючих засобів й так далі. Деякі з них виділяються у внутрішнє повітря роками люди з цим живуть та дихають. Ці речовини також впливають на стан людини та погіршують симптоми алергії та астми. Як це не парадоксально, повітря у приміщенні дуже часто в рази та десятки разів брудніше, ніж на вулиці. Тому потрібно дбати про те повітря, яким дихають люди у приміщенні.

Необхідно застосовувати всебічний підхід та розв'язувати проблему комплексно. Однією з ключових стратегій є правильна вентиляція з ефективним фільтруванням повітря. Наприклад, системи з фільтрами високої продуктивності здатні суттєво знизити кількість поширених тригерів алергії та астми. Використання таких фільтрів у системах вентиляції дозволяє істотно зменшити рівень часток, що приносять алергени, а також обмежити концентрацію пилку, спор плісняви та інших мікроскопічних подразників.

На сьогоднішній день розумні пристрої розвиваються з неймовірною швидкістю. Вони можуть визначати різні характеристики за допомогою датчиків, обробляти цю інформацію та передавати користувачеві у зручному вигляді. Серед них є і розумна вентиляція, яка може аналізувати склад повітря, визначати вологість та температуру. Якщо відбувається виявлення шкідливих речовин відбувається блокування доступу повітря. Також користувач може переглядати інформацію про стан клімату в приміщенні.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою даної дипломної роботи є розробка кіберфізичної системи «Розумна вентиляція», яка здатна аналізувати склад повітря, яке надходить ззовні та в разі виявлення алергенів обмеження надходження повітря у приміщення. Також інформацію про склад повітря, вологість та температуру буде надходити користувачу у режимі реального часу. Під час виконання роботи було проведено дослідження існуючих рішень, здійснено проектування архітектури системи та визначено апаратні та програмні компоненти для подальшої реалізації та тестування готового продукту.

Актуальність роботи зумовлена збільшенням кількості людей, які проводять весь день у закритому приміщенні. Неякісне повітря негативно впливає на працездатність та якість життя людей в цілому. Існують на ринку рішення, які здатні вирішувати поставлені завдання. Це спричинено швидким розвитком інформаційних технологій, Інтернету речей та програмування, які дозволяють реалізовувати розумні пристрої з додатками швидко. Такі пристрої полегшують життя людей, адже людям не потрібно думати про склад повітря та часте провітрювання, а більше думати про власну роботу.

Для того, щоб виконати поставлене завдання потрібно:

- 1) здійснити огляд існуючих методів та рішень системи, яка визначає алергени у повітрі;
- 2) визначити, які компоненти та середовища розробки потрібні для реалізації даного проекту;
- 3) здійснити розробку програмної та апаратної частини;
- 4) виконати тестування кінцевого результату.

Об'єктом дослідження є процес реалізації кіберфізичної системи «Розумна вентиляція, яка здатна визначати наявність алергенів у повітрі».

Предметом дослідження є кіберфізична система «Розумна вентиляція», яка здатна визначати алергени у повітрі (та вимірювати їх приблизний рівень на основі характеристик повітря: температури, вологості, PM1.0, PM2.5, PM10 та індексу якості повітря).

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

## 1.1 Аналіз теми дослідження

Завдяки розвитку технологій люди часто використовують різні функції «розумного будинку» для комфорту та безпеки. Наприклад можна здійснювати керування освітленням та опаленням у приміщенні. Вентиляція не є виключенням у використанні технологій IoT для підвищення ефективності, економії та зручності.

Вентиляція є важливою для забезпечення якості повітря в приміщеннях у житлових та нежитлових будівлях. Розумні вентиляції зазвичай спрямовані на збільшенні швидкості її роботи, коли концентрація забруднювачів у приміщенні перевищують допустимі порогові значення.

Смарт-вентиляція – це інтелектуальна вентиляційна система, яка здійснює зміну повітря у приміщенні та автоматично адаптується до потреб користувача та умов середовища. Вона поєднує у собі такі нові технологічні рішення, як датчики постійного моніторингу якості повітря та можливості використання програмного забезпечення для налаштування ефективності такої вентиляції [40].

Основні характеристики системи розумної вентиляції:

- вентиляція самостійно змінює свою продуктивність залежно від показників датчиків повітря (вологи, температури, датчик VOC та інших за розкладом);
- коли відбувається автоматичне зниження продуктивності вентиляції, пропорційно знижується споживання нагрівача та вентиляторів. Це заощаджує гроші, які потрібно платити за енергію;
- можна змінювати всі режими роботи вентиляції через мобільний додаток або програмне забезпечення;
- інтеграція з іншими системами будинку [1].

Датчики постійно відстежують рівні вуглекислого газу, вологості, температури та інших параметрів. Контролер обробляє отримані дані та визначає

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідність зміни режиму роботи. На основі аналізу, система автоматично змінює швидкість вентиляторів, температуру нагріву свіжого повітря, відкриває або закриває заслінки, активує рекуперацію тепла. Система може взаємодіяти з іншими компонентами «розумного будинку», такими як опалення чи кондиціонування, для досягнення оптимального мікроклімату. Можна отримати сповіщення про стан повітря та змінювати налаштування через додаток або голосових помічників. Наприклад, у приміщенні підвищується вуглекислий газ, через велику кількість людей. Давач вуглекислого газу, фіксує зміну та передає сигнал контролеру. Контролер збільшує швидкість припливно-витяжної установки для підвищення повітрообміну. Після нормалізації повітря система повертається до стандартного режиму роботи [1].

У порівнянні зі звичайними вентиляційними системами, сучасні системи вентиляції з інтелектуальним керуванням перевершують їх за багатьма параметрами. Вентиляція весь час відстежує чи якісне повітря у приміщенні та автоматично підвищує свою продуктивність тільки тоді, коли це потрібно. Коли повітря стає чистим, вона сама автоматично повертається на знижену швидкість. Це заощаджує витрату енергії, зменшує навантаження на систему опалення або кондиціонування приміщення, зберігає ресурс самої вентиляційної системи. Інтеграція з Alexa, Google Assistant та іншими сервісами дозволяє керувати вентиляцією з голосовими командами. Також вентиляції оснащені фільтрами, які очищують повітря з вулиці від усього, що воно може містити у собі [1].

Вентиляція може здійснювати регулювання роботи самостійно. Однак користувачі також можуть здійснювати керування системою. Для керування системою використовують контролер з давачем, який вішають на стіну кімнати або налаштовувати можна у спеціальній програмі [42].

Ключові аспекти концепції розумної вентиляції:

- система працює автономно, без постійного втручання користувачів;
- режим роботи змінюється залежно від показників якості повітря та зовнішніх умов;

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- оптимізація роботи для мінімізації енерговитрат;
- можливість взаємодіяти з іншими системами розумного дому;
- налаштування під індивідуальні потреби та вподобання користувачів.

Зазвичай розумна вентиляція складається з датчиків, розумного контролера, вентилятора з регулюванням швидкості, фільтра, регулятора тепла, клапана, модулі зв'язку та мобільного застосунку. [42].

Розумний контролер складається з центрального процесора, який аналізує дані з датчиків. Також необхідні алгоритми прийняття рішень та інтерфейс для взаємодії з користувачами. Вентилятори з регульованою швидкістю можуть бути припливні та витяжні. Фільтри зазвичай використовуються для грубого очищення, тонкого очищення або для видалення запахів та газів. Рекуператор тепла – це пристрій для передачі тепла від витяжного повітря до припливного. Клапани використовуються для регулювання потоку повітря в різних зонах будинку. Для модулю зв'язку зазвичай застосовують Wi-Fi або Ethernet для підключення до інтернету або Bluetooth [2].

Vents - це українська компанія з багаторічним досвідом, яка пропонує широкий асортимент сучасного вентиляційного обладнання для вирішення будь-яких завдань у галузі вентиляції. Дана компанія створила вентиляційну систему Vents iFan Wi-Fi. Вентиляція складається з датчиків вологості та руху, двигуна DS, осьової крильчатки. Керувати можна за допомогою мобільного додатку, де самостійно можна налаштовувати роботу вентилятора за датчиками та режимами. Тихий режим роботи, вмикається у разі спрацьовування датчу руху або замикання зовнішнього вимикача. Дозволяє регулювати швидкість роботи. Максимальний режим роботи спрацьовує у разі спрацьовування датча вологості, температури або активування у застосунку. Цілодобовий режим працює на мінімальній швидкості для мінімального цілодобового провітрювання. У разі спрацьовування датчиків перемикається на максимальний або тихий режим. Інтервальний режим дозволяє працювати системі у межах заданого інтервалу та встановленій швидкості, наприклад кожні 12 годин

протягом 30 хвилин здійснювати роботу. Також компанія створила вентиляційну систему Vlauberg O2 Supreme, яка призначена для забезпечення ефективної витяжної вентиляції в санвузлах, кухнях та інших побутових приміщеннях. Оснащений датчиками якості повітря, вологості, освітлення, руху та таймером, а також можливістю віддаленого керування через мобільний додаток. Забезпечує автоматичне регулювання роботи залежно від поточних умов [3]. На рисунку 1.1 зображено розумну вентиляційну систему Vents.



Рисунок 1.1 – Розумна вентиляційна система компанії Vents [3]

Jablotron – це чеська компанія, що динамічно розвивається. Серед продукції є і розумна вентиляція для дому чи квартири. Особливістю роботи смарт-вентиляції від даної компанії полягає в тому, що відбувається подача свіжого повітря в конкретні зони, а забирає відпрацьовані маси з «брудних зон», де накопичується волога та запахи (туалет, ванна, кухня). Дана вентиляційна установка складається з датчиків вуглекислого газу, які ставлять у необхідні кімнати та VAV-клапани, які контролюють кількість повітря, що надходить і видаляється. Також є вентиляції Jablotron, які можна використовувати на кухні. Серед них може бути повітряно забірний елемент біля варильної поверхні. У цьому випадку стандартний повітропровід забору повітря працюватиме в парі з

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кухонною витяжкою, забираючи залишки задимленого повітря [4]. На рисунку 1.2 зображено схему роботи вентиляційної системи у приміщенні.

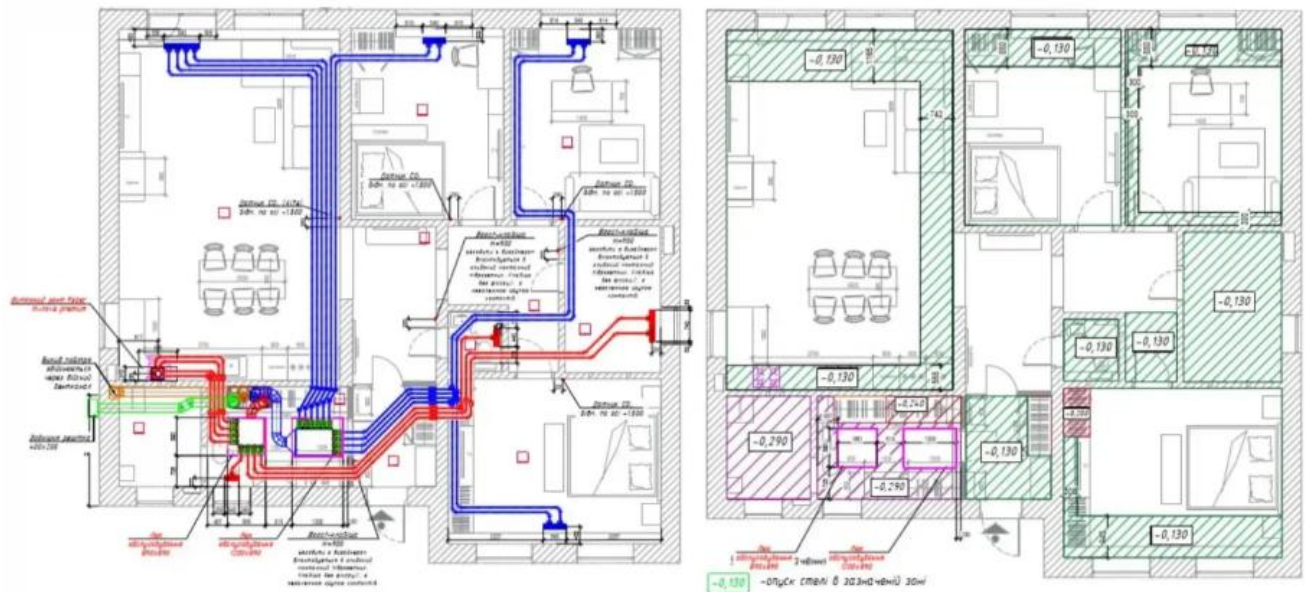


Рисунок 1.2 – Схема роботи вентиляційної системи Jablotron у приміщенні [4]

Ще одна українська компанія, яка займається створенням та проектуванням розумної вентиляційної системи є Alter Air. Особливістю вентиляційної системи є те, що відбувається контроль припливної системи та витяжної системи з рекуперацією в залежності від показників датчика вуглекислого газу регулюється потужність роботи двигуна та рівень відкриття клапана. На рисунку 1.3 зображено компоненти вентиляційної системи Alter Air. У системі для всіх зон задається значення від 600 до 800 ppm. У звичайній системі вентиляції повітря подаватиметься в усіх зонах згідно нормативів. А з використання розумної вентиляції даної компанії, визначається присутність людини в залежності від зміни рівня вуглекислого газу у кімнаті. Якщо ж кількість вуглекислого газу не змінюється, то система думає, що у кімнаті нікого немає і працює на мінімальній швидкості. Вентиляційна система завжди працює на мінімальних оборотах [5].

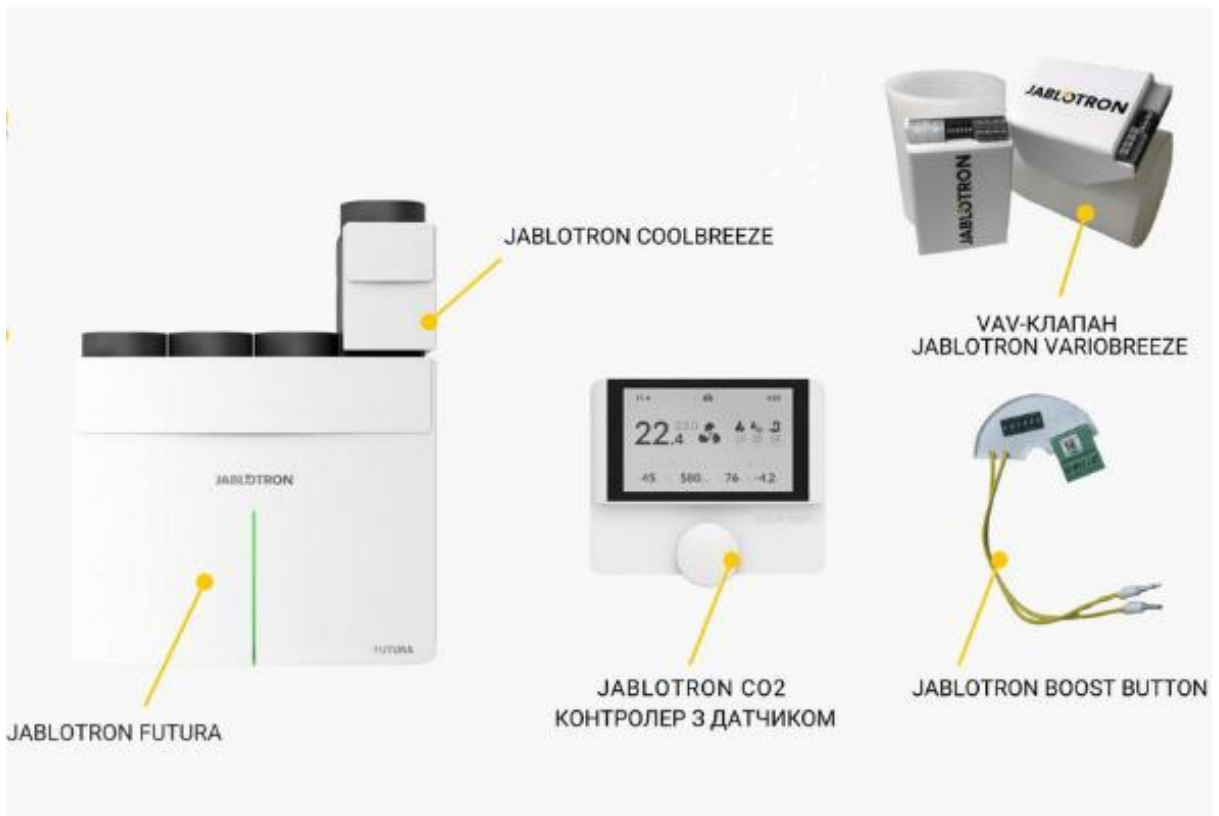


Рисунок 1.3 – Компоненти вентиляційної системи Alter Air [5]

На рисунку 1.4 зображено вентиляційну систему компанії Alter Air.



Рисунок 1.4 – Вентиляційна система Alter Air [5]

Перегляд існуючих рішень свідчить, що відбувається розвиток розумної вентиляції і вона витісняє звичайну вентиляцію. Ця тенденція проявляється в Україні та світі загалом. В Україні є багато компаній, які створюють та проектують розумні вентиляції і здатні конкурувати з міжнародними компаніями. Смарт вентиляції можуть використовуватись у багатьох закладах: медичні установи, освітні заклади, ресторани тощо. Тому важливо реалізувати власне рішення, яке буде простим у використанні, недорогим у впровадженні та енергоефективним.

## 1.2 Перегляд апаратних та програмних рішень для реалізації

Якісна робота розумної вентиляції неможлива без ретельного підбору апаратної та програмної частини. На ринку є багато платформ, давачів, засобів передачі інформації, зберігання та візуалізації. Від вибору компонентів залежить вартість, масштабованість та стабільність роботи вентиляційної системи. Для обробки даних в розумних пристроях використовують мікроконтролери. Мікроконтролер –це невеликий чіп, який виконує певні завдання в пристрої. Його можна знайти в пристроях, що запускають прості програми, такі як увімкнення світла або перевірка давачів. Однокристальна конструкція мікроконтролерів економить місце та енергію. Це зручно для невеликих та малопотужних застосувань [6].

Для реалізації розумної вентиляції потрібно також визначати характеристики повітря у приміщенні. Характеристики повітря визначаються за температурою, вологістю, кількість твердих частинок, легких органічних сполук, вуглекислого газу та наявність бактерій, спори грибів, пилок.

Давачі твердих частинок можуть бути двох принципів. На основі лазерних та інфрачервоних типів. Обидва типи використовуються для виявлення частинок у повітрі, моніторингу якості повітря в приміщеннях і сигналізації про забруднення повітря.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Давач, який заснований на інфрачервоному принципі, відносно простий за структурою. Джерелом світла є інфрачервоний світлодіод. Відповідно до принципу розсіювання світла світло, випромінюване світлодіодом, зустрічається з частинками та створює відбиття. Світлочутливий елемент визначає інтенсивність відбитого світла та оцінює концентрацію частинок відповідно до інтенсивності імпульсного сигналу за допомогою алгоритмів обробки та класифікації. Якщо частинок не виявлено, на виході світлочутливого детектора буде низький імпульс, навпаки, при виявленні частинок на виході видається високий імпульс.

На відміну від інфрачервоного давачу, лазерний давач частинок має вентилятор, який може забезпечити стабільний потік повітря та швидко визначити концентрацію у навколишньому середовищі. Оскільки лазерний давач використовує лазерний світлодіод як джерело світла, його структура та схема є більш складними, ніж інфрачервоний давач. Коли дрібні частинки або пил у повітрі вдуваються в лазерний промінь всередині давача за допомогою вентилятора постійного потоку, лазерне світло розсіюється. Розміщується фотодетектор у відповідному положенні, щоб він отримував лише розсіяне світло, а потім генерував електричний сигнал через фотоелектричний ефект; після посилення схемою можна отримати концентрацію дрібних частинок.

Інфрачервоне світло має велику довжину хвилі (приблизно від 700 до 900 нм), і точність вимірювання інфрачервоним давачем для частинок з аеродинамічним діаметром менше 1 мкм є недостатньою. Оскільки сигнал розсіювання інфрачервоного світлодіодного світла слабший, ніж лазерне світло, він має відносно очевидну реакцію лише на великі частинки діаметром понад 1 мкм. Тільки нагрівальний резистор використовується для керування потоком повітря для відбору зразків, і кількість зразків невелика. Точність вимірювання становить близько  $\pm 30\%$ .

Лазерний давач може виявляти частинки пилу розміром до 0.3 мкм. Оскільки він постачається з високопродуктивним мікроконтролером, він

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовує вентилятор із постійною швидкістю для збільшення забору повітря та збору даних з більшою щільністю. Таким чином, лазерний давач пилу має очевидні переваги порівняно з інфрачервоним давачем пилу в точності вимірювання, чутливості, точності та послідовності.

Детектор VOC – це прилад для визначення газу, спеціально розроблений для моніторингу викидів летких органічних сполук у реальному часі. Станція виявлення летких органічних сполук – це системний, хімічний і модульний прилад для виявлення летких газів, який об'єднує кілька функцій. Станції виявлення VOC, виготовлені виробниками обладнання для онлайн-моніторингу VOC, мають кілька функцій, таких як відбір проб газу, фільтрація, індикація концентрації в реальному часі, передача даних через бездротову мережу, захист навколишнього середовища, підключення до мережі тощо. Обладнання для онлайн-моніторингу VOC має чутливу реакцію, сильну непрацездатність і точніші результати вимірювань, що робить його придатним для даних, наданих підрозділами моніторингу навколишнього середовища.

Детектор VOC використовує технологію професійного мікроконтролера, яка має такі переваги, як швидка відповідь, висока точність і висока надійність. Обладнано монітором для моніторингу та публікації інформації про дані в режимі-часу, а також оснащений інтерфейсом API монітора для передачі даних моніторингу в систему керування, що робить клієнтам зручним запитувати та керувати інформацією про дані про викиди VOC. Обладнання онлайн-моніторингу летких органічних сполук застосовується в нафтохімічному обладнанні, виробництві меблів, автомобілях, пластмасі та пластикових виробках, поліграфії та пакуванні та в інших галузях. На рисунку 1.5 наведено зовнішній вигляд детектору VOC.

Давач CO<sub>2</sub>, також відомий як давач вуглекислого газу - це пристрій, призначений для вимірювання та моніторингу концентрації вуглекислого газу в навколишньому середовищі [7].

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд детектору VOC [53]

Давачі CO<sub>2</sub> NDIR використовують властивості поглинання інфрачервоного випромінювання для вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>. Ці давачі складаються з джерела інфрачервоного світла (як правило, інфрачервоної лампочки), оптичної камери та інфрачервоного детектора. Джерело світла випромінює інфрачервоне випромінювання певної довжини хвилі, яке проходить через оптичну камеру. Коли світло проходить через камеру, молекули CO<sub>2</sub> поглинають хвилі інфрачервоного випромінювання певної довжини. Інфрачервоний детектор вимірює інтенсивність світла, яке проходить через камеру, і на основі поглинання CO<sub>2</sub> на певних довжинах хвиль обчислює та виводить концентрацію CO<sub>2</sub> [7].

Теплопровідні давачі CO<sub>2</sub> вимірюють концентрацію CO<sub>2</sub> на основі співвідношення між теплопровідністю газу CO<sub>2</sub> та його концентрацією. Давач включає в себе термопару або терморезистор, одна частина якого нагрівається і

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримується при постійній температурі, а інша частина служить еталонною температурою. Коли CO<sub>2</sub> проходить через давач, він відводить тепло від нагрітої частини, що призводить до різниці температур. давач вимірює цю різницю температур і перетворює її на показання концентрації CO<sub>2</sub>.

Напівпровідникові давачі CO<sub>2</sub> використовують електричні характеристики оксидних напівпровідникових матеріалів для вимірювання концентрації CO<sub>2</sub>. Ці давачі часто використовують чутливі до газу матеріали на основі оксиду металу, наприклад діоксид олова (SnO<sub>2</sub>). Коли газ CO<sub>2</sub> контактує з оксидним матеріалом, на поверхні матеріалу відбувається хімічна реакція, що спричиняє зміну його електричного опору. Ця зміна опору пропорційна концентрації CO<sub>2</sub>, і давач вимірює цю зміну опору, щоб визначити концентрацію CO<sub>2</sub>.

Існує кілька типів давачів CO<sub>2</sub>, але найпоширеніші з них базуються на технології недисперсійного інфрачервоного випромінювання (NDIR).

Давачі вологості визначають ступінь вологості в приміщенні. Він може показувати кілька типів вологості – абсолютну, відносну або питому. Зазвичай один давач може визначати не лише вологість, а ще й температуру у приміщенні [8].

Дуже хорошим і розумним рішенням є давач вологості з реле, яке надсилає сигнал на інший пристрій. Це дозволяє підключити гігрометр до іншого обладнання, наприклад, вентилятора, після надсилання повідомлення. На давачу встановлюється рівень вологості, при перевищенні якого реле негайно активує, наприклад, вищезгаданий вентилятор або інший пристрій. Це робиться для того, щоб запобігти надмірній вологості в приміщенні і відповідно регулювати її [8].

Wi-Fi є популярним рішенням для приміщення з постійним доступом до глобальної мережі Інтернет. Основною перевагою є швидкість передачі інформації, можливість масштабувати та підключати різні розумні пристрої. Недоліком є те, що сигнал слабшає через стіни, меблі та велике енергоспоживання у порівнянні з іншими технологіями.

Bluetooth працює на короткій відстані, але для розумної вентиляції може бути достатньо. А якщо ж потрібні бездротові технології для всього розумного будинку, то Bluetooth через відстань роботи не підійде.

Thread-технологія - це відносно новий стандарт, який зараз доступний тільки в обраних пристроях HomeKit: HomePod mini, деякі з «розумних» девайсів Eve і Nanoleaf. Технологія «нитки» побудована таким чином, що пристрої з її підтримкою можуть під'єднуватися одне до іншого, незалежно від того, чи є додатковий хаб/концентратор, і наскільки далеко вони розташовані від центрального пристрою зв'язку. Осередковий тип мережі, який створює технологія Thread, дозволяє вийти далеко за межі з'єднання Wi-Fi або Bluetooth. Оскільки Thread працює з новим інтернет-протоколом IPv6, вона є безпечною та надійною. Пристрій з підтримкою Thread не залежить від центрального концентратора, тому, якщо з ладу вийде один пристрій «нитки», усі інші будуть працювати, з'єднуючись один з одним. Таким чином, чим більше «розумних» пристроїв Thread буде розміщено, тим безпечніше та надійніше буде з'єднання. До того ж з використанням даної технології площа покриття в рази більша ніж у Bluetooth та Wi-Fi. Thread працює набагато швидше, ніж Bluetooth і Wi-Fi, оскільки вона створена безпосередньо для «розумного будинку». Тому для з'єднання немає перешкод у вигляді інших пристроїв [50].

Zigbee вважається альтернативою для Wi-Fi і Bluetooth для деяких програм, у тому числі для пристроїв з низьким споживанням енергії, які не вимагають великих енерговитрат. Zigbee не фокусується на двоточковому зв'язку, такому як Bluetooth, коли один потужний пристрій передає дані на інший потужний пристрій з короткої відстані, тому він відмінно підходить для розумного будинку [52].

LoRa – це метод модуляції в малопотужній глобальній безпроводній мережі. Він працює в неліцензованих діапазонах частот, надаючи пристроям можливість обмінюватися даними на великих відстанях із мінімальним споживанням енергії. LoRa працює з великою дальністю дії, а модульовані

радіохвилі здатні проникати крізь стіни й будівлі. Ще однією важливою перевагою є економічність, що робить LoRa ідеальним рішенням для проектів IoT-мережі. Технологія LoRa призначена для забезпечення двостороннього зв'язку між давачами та шлюзами, які діють як мости між давачами й сервером адміністратора мережі (центр обробки отриманих даних) [51].

Програмне забезпечення відіграє важливу роль в обробці та відображенні характеристик повітря у середовищі. Під час розробки потрібно вибрати середовище на якому зручно буде створювати програмний продукт. Одним з популярних рішень є Arduino IDE. Arduino IDE – це безкоштовне середовище розробки для плат Arduino, яке включає редактор коду, компілятор, програматор. У ньому є весь необхідний мінімум для розробки програм: написання коду, перевірка коду, компіляція, завантаження скетчу, монітор послідовного порту. Ця IDE стала популярною не лише для початківців, а й для професіоналів. Можна для розробки використовувати не лише Arduino, а ще ESP плати, Raspberry Pi Pico та плати на ARM. Ще однією платформою для розробки є PlatformIO. Ця IDE з відкритим вихідним кодом зручна для розробки проектів Інтернет речей. Ці платформи дозволяють створювати код на C++ із підтримкою необхідних для розробки бібліотек відповідних сенсорів. Також можна використовувати MicroPython якщо потрібна простота та швидкість роботи програмного забезпечення [9].

Для розробки мобільного додатку або веб-сайту можна використати Blynk. Blynk – це повністю інтегрована платформа інтернету речей, яка не залежить від обладнання. Вона має мобільні додатки, хмарні сервіси і дозволяє керуванням пристроями, аналітикою даних і машинним навчанням. Blynk надає можливість навіть зберігати інформацію за певний період часу і на основі цього будувати графіки [10].

Але якщо потрібно зберігати дані різних типів в структурованому вигляді, то потрібно використовувати бази даних.

Серед наявних рішень можна використовувати реляційні бази даних. До них можна віднести MySQL, PostgreSQL та MariaDB. Вони зручні через те, що дані відображенні структуровано у табличному вигляді та забезпечують цілісність даних. Можна використовувати і нереляційні бази даних, такі як MongoDB, Cassandra. Особливістю таких баз даних полягає в тому, що тут відсутня жорстка схема, швидко можна масштабувати та висока швидкість [48].

Отже, за допомогою сучасних технологій можна реалізувати кіберфізичну систему «Розумна вентиляція» для будь-якого приміщення. Для цього достатньо використати сенсори, мікроконтролери, реалізувати бізнес-логіку для візуалізації та обробки даних. На основі цього можна сформулювати вимоги до власної вентиляційної системи в залежності від приміщення, мережі в середині тощо.

### 1.3 Постановка завдання для кіберфізичної системи

Після проведеного аналізу у попередньому підрозділі стало зрозуміло, що є багато технічних рішень, сенсорів, технологій для реалізації ефективної системи. Однак потрібно враховувати для якого саме середовища потрібно реалізувати систему. Вона має забезпечувати безпеку та зручність людей.

Метою даної роботи є створення кіберфізична система «Розумна вентиляція», яка здатна вимірювати ключові характеристики повітря: температуру, вологість, вуглекислий газ, тверді та легкі частинки в приміщенні, визначати алергени та повідомляти користувачів про наявні значення у приміщенні. Дані збираються з датчиків, які розміщені на вентиляційній системі і після цього вони мають бути збережені в структурованому вигляді та передаватись користувачеві у вигляді графіків, таблиць тощо. Також повинна бути можливість масштабувати систему у подальшому у вигляді додання нових сенсорів, розширення радіусу дії. Крім того система має бути енергоефективною, інтерфейс має бути зручним для користувачів.

## 1.4 Висновок

У даному розділі було проведено огляд предметної області, актуальність теми, аналіз існуючих рішень на ринку. Розглянуто апаратні та програмні частини, що використовуються для реалізації кіберфізичних систем. Визначено, які використовуються сенсори, мікроконтролери, способи забезпечення зв'язку, технології для зберігання та візуалізації даних. Вдалося сформулювати переваги та недоліки технічних рішень і на основі цього було визначено постановку завдання. А саме потрібно реалізувати кіберфізичну систему «Розумна вентиляція», яка здатна визначати ключові характеристики повітря та виявляти алергени у приміщенні. Визначені дані зберігаються і відображаються користувачу у зручному вигляді.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ПРОЕКТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ “РОЗУМНА ВЕНТИЛЯЦІЯ”

### 2.1 Аналіз вимог

Для початку перед вибором компонентів потрібно визначити основні вимоги системи. Вимоги кіберфізичної системи залежать від сфери застосування. Розумна вентиляція може застосовуватись у будь-якому приміщенні. До таких приміщень можна віднести житлові кімнати, навчальні заклади, лікарні тощо. Від кількості людей також залежить складність реалізації, адже люди є головним джерелом вуглекислого газу, пилу з одягу та різних алергій, що підвищує навантаження на кіберфізичну систему під час експлуатації.

Згідно з Державними Будівельними нормами, існує два основних стандарти розрахунку повітрообміну:

1. За кількістю незмінних мешканців. У такому разі на кожну людину потрібно подавати 15, 25 або 36 м<sup>3</sup> повітря на годину, щоб досягти мінімального, оптимального чи підвищеного комфорту.

2. За кількістю повітря, що замінюється на годину. У такому випадку враховується площа приміщення та висота стель, які множаться одна на одну, а потім – на стандартну кратність (від 0,6 до 1) [11].

Таким чином розраховується кількість повітря, яке постійно подаватиме та забиратиме вентиляційна установка. Тому, якщо виникне необхідність підвищеної подачі повітря (наприклад, з'явилося відчуття нестачі кисню), доведеться контролювати параметри вручну, і, можна сказати, навімання. У той же час, коли всі мешканці покинуть будинок, вентиляційна установка працюватиме вхолосту, провітрюючи порожні приміщення без потреби. Або доведеться вимикати пристрій вручну – про що не завжди хочеться пам'ятати.

Для реалізації даного завдання було визначено, що буде звичайна житлова кімната площею 15 квадратних метрів та проживає у ній одна людина.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потім потрібно визначити функціональні вимоги системи. Для цього потрібно визначити, що саме буде робити система та компоненти які будуть відповідати за виконання певних функцій. Функціональні вимоги для системи, які були визначені на основі типу приміщення наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Функціональні вимоги кіберфізичної системи

Функціональні вимоги	Компоненти
Визначення легкі органічні сполуки	BME680
Температура та вологість	DHT22
Вуглекислий газ	MH-Z19B
Дрібнодисперсний пил та алергени	PMS5003

Також потрібно враховувати такі вимоги, як надійність, зручність для користувача, масштабованість та енергоефективність. Надійність характеризується здатністю працювати без поломок протягом визначеного часу експлуатації. Зручність є важливою вимогою для будь-якої системи Інтернету речей і включає простоту у користуванні та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для будь-яких користувачів. Масштабованість надає можливість розширити систему у майбутньому. Наприклад, збільшити площу дії вентиляційної системи, під'єднати до системи розумного будинку, розширити функціонал. Енергоефективність включає економне використання електроенергії під час використання, що є важливою рисою кіберфізичних систем. Нефункціональні вимоги наведені для кіберфізичної системи «Розумна вентиляція» наведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вимоги кіберфізичної системи

Вимоги	Пояснення
Надійність	Система має працювати без збоїв згідно визначеного експлуатації.

## Кінець таблиці 2.2

Зручність	Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та простий у використанні.
Масштабованість	Повина бути можливість розширити систему та додати новий функціонал.
Енергоефективність	Система має намагатись економно використовувати електроенергію.
Оновлення	Час від час потрібно здійснювати оновлення у епоху нових викликів та можливостей.

Отже, під час виконання даного підрозділу було визначено у якому саме приміщенні буде використовуватись вентиляційна система, які компоненти можуть забезпечити виконання функціональних вимог та визначено нефункціональні вимоги, які також необхідно враховувати.

### 2.2 Вибір компонентів для реалізації системи

На ринку є багато різних компонентів для реалізації даної системи. Потрібно вибирати апаратну частину виходячи з встановлених вимог у попередньому підрозділі.

Вентиляція повинна визначати кількість вуглекислого газу, легкі органічні сполуки, алергени, вологість та температуру у режимі реального часу. На основі визначених значень вентиляція повинна спрацьовувати у разі необхідності та виводитись значення на екран.

Система повинна бути масштабованою для подальшого додавання за необхідності нових давачів для збільшення радіусу дії та визначення нових характеристик повітря.

Основними є два сімейства мікроконтролерів: Arduino та ESP32. Arduino включає власний IDE, широку підтримку бібліотек, різні варіанти плат (Uno, Mega, Nano), 8-бітні або 32-бітні процесори залежно від моделі, стандартизована система екранування для легкого розширення, USB-інтерфейс (рис 2.1). Натомість ESP32 «система на кристалі» з інтегрованим Wi-Fi та Bluetooth. ESP32 став неймовірно популярним у застосунках Інтернету речей завдяки своїм потужним характеристикам та вбудованому бездротовому з'єднанню за доступною ціною [41].



Рисунок 2.1 – Вигляд Arduino Uno [12]

Raspberry Pi Pico відноситься до крихітної, швидкої та універсальної плати, яка побудована з використанням RP2040, абсолютно нового мікроконтролерного чіпу, розробленого Raspberry Pi у Великобританії (рис 2.2). Надається технологія, яка лежить в основі незліченних повсякденних операцій, від керування пристроями до керування дисплеєм. Має можливість програмування на C та MicroPython. Pico адаптується до широкого спектру додатків та рівнів навичок. Більш досвідчені користувачі можуть скористатися багатим набором периферійних пристроїв Raspberry Pi Pico, включаючи SPI, I2C [13].



Рисунок 2.2 – Вигляд Raspberry Pi [15]

STM32 відноситься до сімейства 32-розрядних мікроконтролерів. Базуються на архітектурі ARM Cortex-M, що дозволяє поєднувати високу продуктивність, енергоефективність та багатий набір периферійних пристроїв (рис 2.3). Мікроконтролери STM32 широко використовуються в різноманітних вбудованих системах, від простих споживчих пристроїв до складних промислових рішень [14].

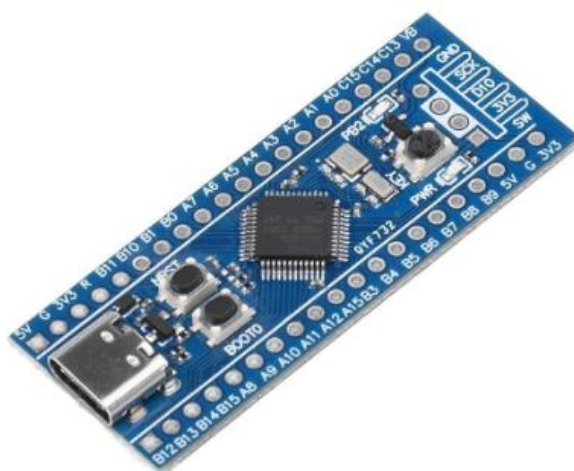


Рисунок 2.3 – Вигляд STM23 [16]

Найбільш популярним на ринку є мікроконтролери ESP32 та Arduino Uno. Тому було здійснено порівняння цих двох мікроконтролерів, яке наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Порівняння Arduino Uno та ESP32 [17]

Характеристика	Arduino Uno	ESP32
Процесор	8-bit ATmega328P	32-bit Dual-core Xtensa LX6
Тактова частота	16 МГц	До 240 МГц
Флеш-пам'ять	32 КБ	4 МБ
SRAM	2 КБ	520 КБ
Wi-Fi	Відсутній	Вбудований 802.11
Bluetooth	Відсутній	Вбудований BT 4.2 BLE

Згідно наведених у таблиці характеристик стало зрозуміло, що ESP32 має більше можливостей ніж Arduino Uno, саме тому було вибрано мікроконтролер ESP32. Він буде обробляти визначену із датчиків інформацію та здійснювати подальшу інформацію для візуалізації. Має підтримку бездротових мереж типу Wi-Fi та Bluetooth за допомогою цього можна інтегрувати різні пристрої IoT в єдину мережу. Мікроконтролер є доступним на ринку, тому що вартість модуля нижча за готові комерційні рішення, що дозволяє створювати системи з мінімальними витратами. Також може обробляти багато інформації одночасно, що ідеально підходить для IoT систем. До нього можна підключати десятки датчиків, реле й модулів для розширення функціоналу. Його можна використовувати у автономних пристроях, які живляться від акумулятора це сприятиме енергоефективності. ESP32 дозволяє реалізувати практично всі ключові елементи розумного будинку (рис 2.4). У тому числі і моніторинг клімату, автоматичне вмикання вентиляції, кондиціонера. Ще однією особливістю мікроконтролера є підтримка MQTT. Цей протокол підходить для десятки пристроїв, які повинні передавати дані й отримувати команди [24].

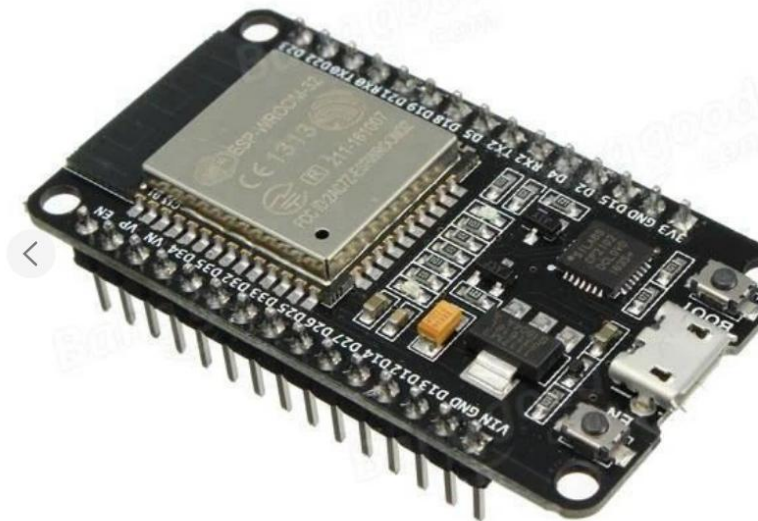


Рисунок 2.4 – Вигляд мікроконтролера ESP32 [25]

Для моніторингу так контролю якості повітря можна використати давач BME680 (рис 2.5). Цей давач здатний виявляти легкі органічні сполуки, а також надавати точні дані про температуру, вологість та атмосферний тиск у режимі реального часу. Головною особливістю є невеликий розмір та низьке енергоспоживання, що дозволяє використовувати у розумних будинках та подібних системах. Він розширює існуючу лінійку давачів навколишнього середовища Boasch Sensortec, вперше інтегруючи високо лінійні та високоточні давачі для газу, тиску, вологості та температури [18].



Рисунок 2.5 – Давач BME680 [26]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Щоб визначити температуру та вологість з підвищеною точністю можна використати DHT22 (рис 2.6). Цей датчик має заводське калібрування і характеризується низьким енергоспоживанням. Дані температури та вологості передаються по цифровому виходу DATA, який має відкритий колектор. Усі дані передаються цифровою послідовною інформаційною шиною по одному провіднику – DATA. У датчик DHT22 є вбудована пам'ять, в якій можуть накопичуватися результати вимірювань і потім на запит, передаватися на контролер. Протокол вчитування даних в DHT22 аналогічний до протоколу в DHT11: одиниця та нуль кодуються різними з тривалістю імпульсу. Дані складаються з десяткової та цілої частин. Повна передача даних становить 40 біт, і датчик першим надсилає вищий біт даних. Мікроконтролер виступає у ролі головного пристрою шини і, отже, відповідає за ініціювання зв'язку. Датчик DHT22 завжди залишається як підлеглий пристрій і відповідає даними [19].

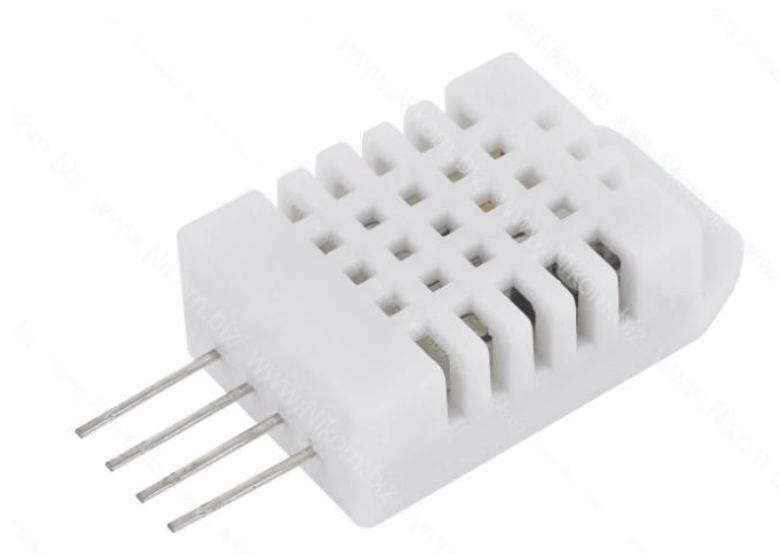


Рисунок 2.6 – Датчик DHT22 [27]

Для визначення температури приміщення можна використовувати ще один датчик DS18B20 (рис 2.7). Це цифровий датчик температури, який забезпечує високу точність, простий інтерфейс та унікальну ідентифікацію пристрою, що робить його найкращим вибором для вбудованих систем та IoT-додатків [49].

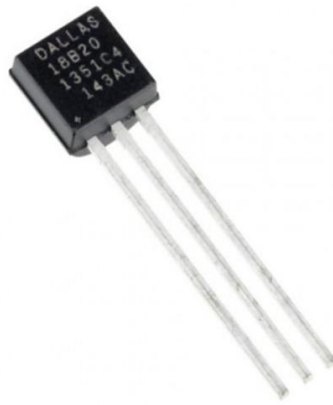


Рисунок 2.7 – Давач DS18B20 [49]

Для визначення вуглекислого газу було обрано давач МН-Z19В (рис 2.8). Цей давач дешевий, інтелектуальний, який використовує принцип недисперсійного інфрачервоного випромінювання. Його також можна віднести до малогабаритного. Вбудована температурна компенсація, а також вихід UART [20].



Рисунок 2.8 – Давач МН-Z19В [20]

Щоб визначати кількість частинок дрібнодисперсного пилу потрібно використовувати давач PMS5003 (рис 2.9). Це цифровий лазерний давач твердих частинок. Він здатний реагувати на частинки розміром від 0,3 до 10 мікрометрів. Може використовуватися в системах оцінки якості повітря, системах «Розумний будинок» устаткуванні для вентиляції, кондиціонування, очищення повітря тощо.

Також можливе застосування як швидко реагуючого давача диму. Цей давач також здатний визначати вуличне забруднення, шерсть тварин та мікроскопічні алергени, що переносяться разом із пилом [21].



Рисунок 2.9 – Давач PMS5003 [21]

Для взаємодії мікроконтролера з комп'ютером або вентиляційною системою потрібно використовувати безпроводну мережу. Було визначено, що це буде Wi-Fi. Тому що це найпопулярніша мережева технологія та підтримує високу швидкість.

Для того, щоб відбувалось керування вентиляційною системою потрібно використовувати реле. Реле – це електромеханічний або твердотільний комутуючий пристрій, який вмикає або вимикає електричний ланцюг під дією керуючого сигналу. Тобто він є посередником між ESP32 та вентиляційною системою. Його основна задача це просто увімкнення та вимкнення вентиляції в залежності від визначених даних. Види реле:

- електромеханічні – класичні реле з котушкою та контактами;
- твердотільні – не мають рухомих частин, працюють на напівпровідниках;
- реле часу – спрацьовують із затримкою;
- реле напруги, струму, температури – автоматично захищають обладнання від небезпечних умов [22].

Реле використовують у автомобілях, автоматичних системах та в тому числі і у розумних будинках (рис 2.10).

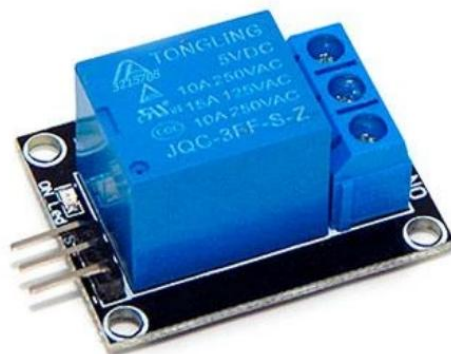


Рисунок 2.10 – Реле для вентиляційної системи [47]

Для створення та тестування електронних схем потрібно використовувати макетну плату. Макетна плата – це безпечна плата для монтажу (рис 2.11). Це універсальний інструмент для моделювання прототипів пристроїв. Альтернатива створення схем без застосування паяльника. Макетну плату застосовують для конструювання, налагодження і тестування майбутньої схеми пристрою при різних умовах підключення і експлуатації. Вона складається з пластикової пластини-підставки з великою кількістю отворів. Відстань між отворами – 2,54 мм, їх діаметр – 0,8 мм. Усередині розташовані два види доріжок: контактні групи пластин і вертикальні доріжки для подачі живлення. Ряди металевих пластин-рейок мають по п'ять кліпс кожна. Отвори, в які будуть вставлятися ніжки елементів, з'єднують кліпси і таким чином замикають схему. Провідник, підключений до отвору в одному з рядів, одночасно з'єднується з іншими контактами цього ряду. На одній рейці можна підключити до 5 елементів, які будуть пов'язані між собою [23].

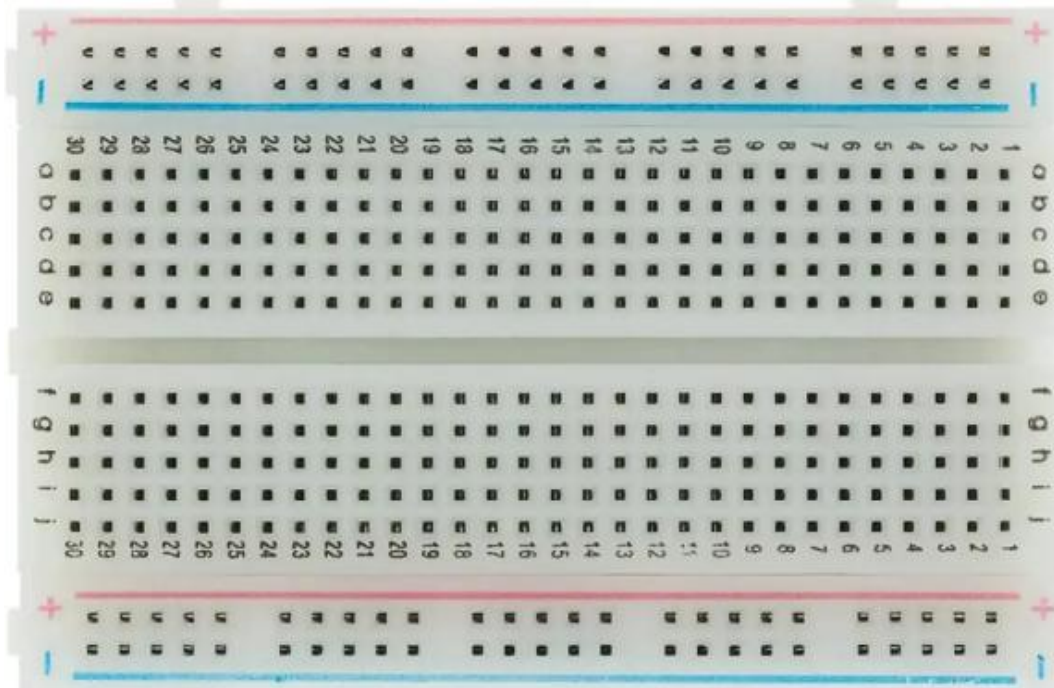


Рисунок 2.11 – Макетна плата [23]

Кінцевий вибір компонентів з вказаними характеристиками для кіберфізичної системи «Розумна вентиляція» наведено у таблиці 2.4.

Також на етапі проектування було визначено приблизну вартість компонентів, які необхідні для кіберфізичної системи. Ціна компонентів наведена у таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 – Компоненти кіберфізичної системи

Компоненти	Характеристики
ESP32 DevKit V1	Тактова частота: до 240 МГц. Оперативна пам'ять: 520 КБ SRAM. Flash пам'ять: 4 МБ. Підтримка Wi-Fi 802.11b/g/n та Bluetooth 4.2 BR/EDR/BLE. GPIO: 20+ цифрових входів/виходів. Робоча напруга: 3,3 В. Підтримка STA/AP/STA+AP режимів, вбудований стек TCP/IP. Підтримка PWM, I2C, SPI, UART, ADC, DAC, Touch

Кінець таблиці 2.4

BME680	Цифровий датчик температури, вологості та тиску. Він має невеликі розміри та низьке енергоспоживання. Датчик BME680 має інтерфейс I2C, вбудований чіп регулятора живлення та чіп перетворювача рівня сигналу, хороша сумісність, може бути безпосередньо сумісний з 3,3 і 5 В системою, зарезервовані інтерфейси SPI, зручний для розширення.
MH-Z19B	Інфрачервоний датчик вуглекислого газу.
PMS5003	Датчик виявлення пилу. Реагує на пил розміром від 0,3 до 10 мікрметрів. Інтерфейс – UART. Живлення: 4,5 – 5,5 В. Діапазон температур: з -10 до +60 градусів.
DHT22	Датчик температури та вологості. Діапазон вимірювання вологості: 0 100% RH. Діапазон вимірювання температури: -40 + 80 градусів.
Реле	1 каналне реле. Керувальний сигнал на рівні 5 В. Струм і напруга комутації: 10А за змінної напруги АС 125V-250V.
Макетна плата	Складається з 830 контактів. Матеріал контактів: фосфорна бронза нанесена на сплав нікелю.

Таблиця 2.5 – Вартість компонентів

Компонент	Ціна (грн)
ESP32	300
BME680	617
MH-Z19B	1000
PMS5003	1000
DHT22	280
Реле	100
Макетна плата	65

Загальна вартість становить 3362 грн. Ціни можуть змінюватись в залежності від постачальників компонентів та від складності реалізації системи. Також можливі витрати на кабелі, макетні плати, монтаж та доставку товару. Варто враховувати чи хоча б якась вентиляційна система у приміщенні, якщо взагалі немає, то потрібно ще витратити на вентиляцію, труби тощо.

Вибір компонентів є важливим етапом проектування системи. Від нього залежить виконання визначених вимог: надійність, енергоспоживання, точність вимірювання згідно визначених сенсорів. Потрібно здійснювати вибір на основі визначеного типу приміщення, його площу, кількість людей та визначеного бюджету.

### 2.3 Проектування схеми та алгоритм роботи

ESP32 виконує роль головного обчислювального модуля системи. Він отримує дані від усіх датчиків, обробляє їх та порівнює з допустимими нормами у приміщенні. Якщо показники не відповідають вимогам формується сигнал для керування вентиляцією через реле. Датчик BME680 підключається до ESP32 через інтерфейс I2C. Сенсор MH-Z19B підключаються через UART для вимірювання концентрації вуглекислого газу, що впливає на свіжість повітря у приміщенні. Датчик PMS5003 підключається через UART для вимірювання наявності пилу та дрібнодисперсного пилу, які можуть бути алергенами.

Розглянемо алгоритм роботи системи. Спочатку відбувається ініціалізація усіх датчиків. Якщо хоча б один з параметрів повітря не відповідає заданим нормам, то тоді розпочинає роботу вентиляційна система за допомогою реле, який працює як електричний перемикач і передає сигнал на вентиляційну систему лише тоді коли це потрібно. Вентиляція працює до тих пір поки не стануть задовільними умови у приміщенні. У разі якщо умови у середовищі стануть задовільними вентиляція перестає працювати. Це дозволить здійснити економію електроенергії, адже вона буде працювати лише тоді коли це потрібно.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Користувачі також можуть бачити визначені за допомогою датчиків характеристики повітря і на основі цього самі визначати чи очищувати кімнату від алергенів, вуглекислого газу та інших шкідливих факторів. Дані визначені із сенсорів можуть бути зображені у вигляді графіків та числових значень. Якщо значення характеристик повітря є незадовільними, то можуть приходити push сповіщення та на електронну пошту. Це потрібно для попередження користувача про якість повітря та надати можливість самому увімкнути через додаток, якщо сама вентиляція не увімкнулась або змінити режими роботи. Тобто потрібно надати можливість користувачу ще й самому реагувати на незадовільні умови повітря. Також для користувача може бути попередженням блимання внутрішнього світлодіоду ESP32 у разі за високої температури або неякісного повітря у приміщенні.

Далі наведено блок-схему роботи кіберфізичної системи на рисунку 2.12.

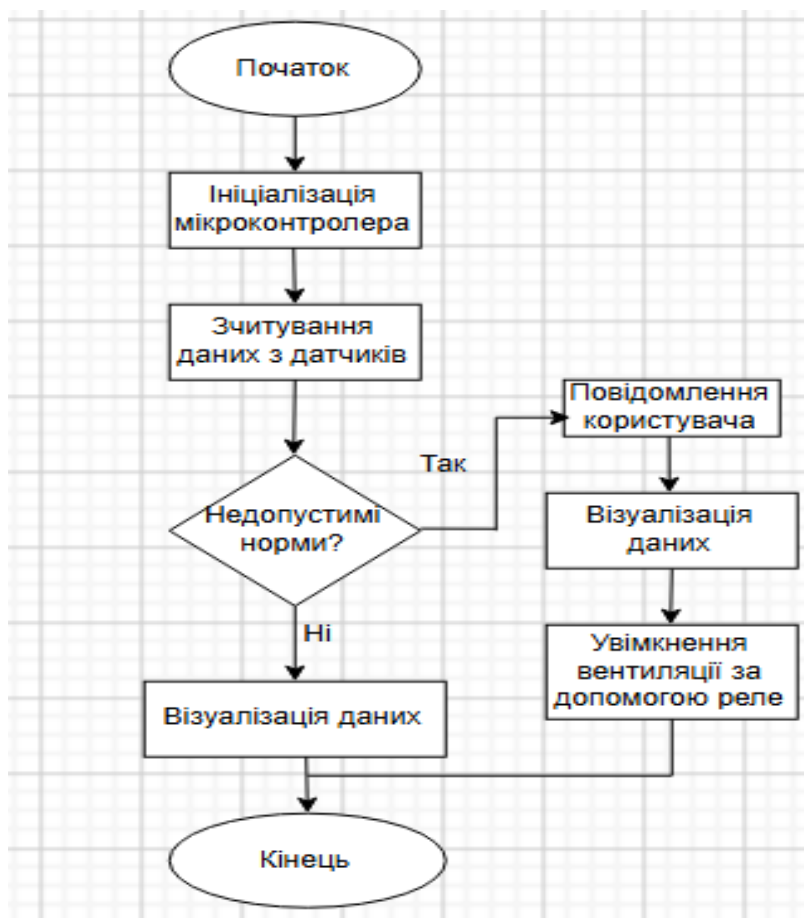


Рисунок 2.12 – Блок-схема роботи кіберфізичної системи

Отже у цьому підрозділі було визначено схему за якою буде працювати кіберфізична система та визначено алгоритм роботи, який потрібно реалізувати.

## 2.4 Вибір програмної частини

Arduino проста у використанні та дозволяє реалізовувати найпростіші проекти: від простих мигалок зі світлодіодами до систем «розумного дому», робототехніки та промислових контролерів. Крім того, Arduino підтримує сотні модулів і датчиків, що дозволяє швидко розширювати функціонал. Він використовується для написання та завантаження програм на плати, сумісні з Arduino, але також за допомогою ядра сторонніх розробників можна використовувати з платами розробника від інших виробників.

Інтерфейс редактора простий і чистий, і в ньому можна знайти функції для вирізання/вставки та пошуку/заміни тексту. Область повідомлень надає інформацію під час збереження та експорту, а також відображає помилки. Консоль відображає текстовий вихід IDE, включаючи повні повідомлення про помилки та іншу інформацію. У нижньому правому куті вікна відображається інформація про підключену плату та послідовний порт. За допомогою кнопок на панелі інструментів можна перевіряти та завантажувати програми, створювати ескізи, відкривати та зберігати. Функції редагування можна знайти в рядку меню. Середовище розробки зручне у сфері робототехніки, багато фахівців користуються нею багато років (рис 2.13).

Основною мовою програмування у середовищі IDE є C++. Завдяки цій мові можна керувати апаратурою швидко та ефективно. Основною перевагою є швидкість роботи коду, невелике споживання пам'яті, багато наявних бібліотек. Також C++ є об'єктно-орієнтованою мовою програмування, що дозволяє працювати з класами та їх об'єктами. Скетч Arduino складається з самостійного файлу, в якому на відміну від мови C++ потрібно визначати хоча б дві секції. Перша секція називається `setup()`, а друга `loop()`.



Рисунок 2.13 – Зовнішній вигляд IDE

Змінні, доступні з обох секцій програми, повинні бути оголошені за їх межами, як глобальні змінні. Як тільки програма запуститься, виконуються операнди, розміщені в блоці `setup()`: вони призначені для ініціалізації значень змінних на початку запуску, а також для налаштування портів периферії Arduino. Після закінчення обробки `setup()` Arduino починає циклічне виконання інструкцій в блоці `loop()`. Після виконання всіх операндів, цикл повторюється знову і знову. В Arduino нема портів для підключення до монітора чи клавіатури: хоча вони і не обов'язкові на таких типах пристроїв. Контакти вводу / виводу призначені для забезпечення обміну даними та сигналами вводу / виводу з зовнішнім світом. Однак це не самодостатні порти, до яких можна звикнути, працюючи з комп'ютерами, а окремі сигнальні виводи. А в тих випадках, коли необхідно відобразити які-небудь значення внутрішніх даних (наприклад під час налагодження) можна підключити плату контролера до комп'ютера за допомогою кабелю USB. Повідомлення, прийняті від контролера, відображаються у спеціальному вікні під назвою `serial monitor`. Такий інтерфейс не підходить для складних задач, та має дуже простий інтерфейс [29]. Ще однією низькорівневою мовою програмування є Rust. Вона також дозволяє створювати системи, які швидко працюють. Але основним недоліком даної мови програмування є обмежена кількість бібліотек у порівнянні з C++. Відсутність великої кількості форумів для вирішення та отримання інформації про проблеми.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Обмежений тулінг для роботи з різними апаратними пристроями. Хоча ці інструменти активно розвиваються, виробники програмного забезпечення пишуть свої тули для роботи з власними пристроями.

Це позитивний аспект, оскільки це сприяє взаємодії мови з різноманітними мікроконтролерами. Проте на цьому етапі підтримка обмежується лише найбільш популярними виробниками, як-от STM, ISP, і Arduino. Інші чипи, можливо, не так широко підтримуються. Але слід зауважити, що це є тимчасовим явищем, і згодом можна очікувати розширення підтримки для інших виробників чипів та апаратних пристроїв у мові Rust. Основними перевагами Rust є використання нових підходів. У C++ вони часто можуть бути застарілими. В Rust тут є перевага, оскільки в нього використовується напівручний підхід, що зменшує можливість виникнення проблем, а сам компілятор робить дуже багато перевірок, щоб забезпечити правильний час життя об'єктів [30].

MicroPython – ще одна популярна мова для програмування ESP32. Це економічна та ефективна реалізація Python 3, призначена для використання в мікроконтролерах. MicroPython забезпечує легкість і потужність Python для мікроконтролерів, що робить його чудовим вибором для початківців і тих, хто віддає перевагу мовам вищого рівня. Він містить невелику частину стандартної бібліотеки Python і оптимізований для роботи на мікроконтролерах, таких як ESP32. Він також пропонує можливість інтерактивної підказки (REPL), яка може бути потужним інструментом для створення прототипів і налагодження. Під час програмування можна використовувати звичайний синтаксис Python. Можна використовувати бібліотеки для роботи з сенсорами, мережами та іншими периферійними пристроями. Можна легко з'єднати ESP32 з хмарними сервісами. Також використовувати Python для роботи з сховищами даних, веб-серверами, базами даних та іншими завданнями. Основним недоліком є те, що на основі нього повільно виконується код, що негативно вплине на швидкість роботи кіберфізичної системи [28].

Blynk – це середовище для створення мобільних та веб-додатків для IoT. З допомогою цього сервісу можна швидко створити прототип, розгорнути та віддалено керувати підключеними електронними пристроями. Вона має мобільні додатки, хмарні сервіси і дозволяє керуванням пристроями, аналітикою даних і машинним навчанням.

Blynk є повним набором програмного забезпечення, необхідного для створення прототипу, розгортання та віддаленого керування підключеними електронними пристроями. Платформа забезпечує практично усе, що потрібно для створення підключення обладнання та керування ним. Це підготовка пристроїв, візуалізація даних датчиків, дистанційне керування за допомогою мобільних і веб-додатків, безпечна хмара, аналіз даних, керування користувачами та доступом, сповіщення та автоматизація. Blynk може використовуватись для управління Arduino, Raspberry Pi, ESP32 та іншими модулями через Інтернет. Графічний інтерфейс можна створити просто перетягуючи віджети. Ця платформа є зручною, як для розробників так і для користувачів. Blynk може працювати на IOS та Android [31]. На рисунку 2.14 наведено архітектуру роботи ESP з платформи Blynk.

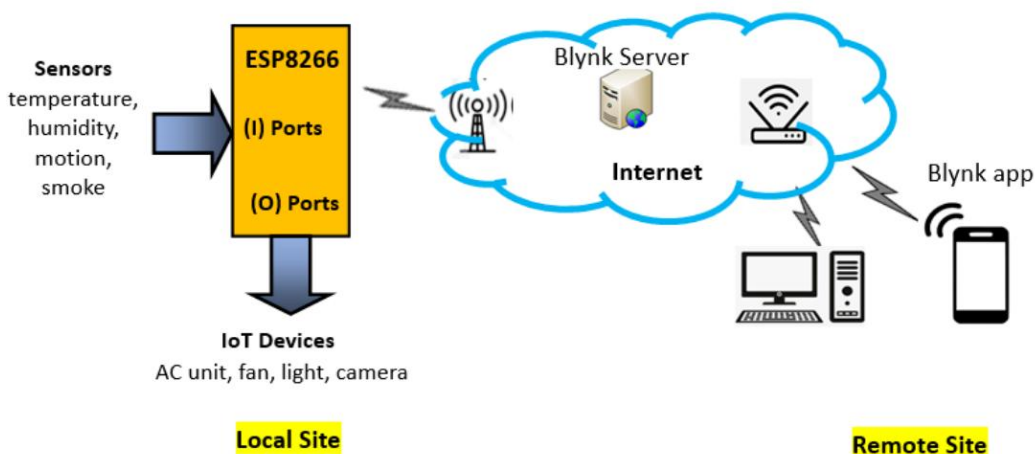


Рисунок 2.14 – Архітектура роботи мікроконтролера з Blynk [32]

Основні особливості Blynk включають візуалізацію даних у режимі реального часу, історичний аналіз даних та інтуїтивні інформаційні панелі для ефективного управління пристроями. Користувачі можуть створювати потоки даних для управління потоком даних між пристроями та іншими платформами та інтегрувати різні віджети для створення інтерактивних панелей інформаційних ресурсів. Blynk також підтримує функції автоматизації, що дозволяє користувачам встановлювати сповіщення та дії на основі конкретних умов, таких як пороги використання енергії. Це робить його придатним для широкого спектру додатків IoT, від моніторингу енергії до розумної автоматизації будинку та іншого [31].

Отже, у цьому підрозділі було визначено, які мови програмування та технології для реалізації кіберфізичної системи на основі ESP32. Визначено переваги та недоліки технологій, особливості їх роботи та основі цього було вирішено використовувати C++ та Blynk для зручної візуалізації даних.

## 2.5 Висновок

У другому розділі було здійснено проектування кіберфізичної системи “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”, що дозволило створити направлення для подальшої реалізації.

Було визначено функціональні та нефункціональні вимоги до реалізації системи. На основі цього було підбрано апаратну частину. Серед апаратної частини вибрано мікроконтролер ESP32, який відповідає визначеним вимогам та підтримує безпроводні технології Wi-Fi та Bluetooth. Також було визначено сенсори для визначення забруднення повітря у тому числі і алергенів. Серед них було вибрано BME680, MH-Z19B, PMS5003, DHT22. BME680 дозволяє визначати легкі органічні сполуки, температуру, вологість та атмосферний тиск. За допомогою MH-Z19B можна визначити вуглекислий газ. давач PMS5003 дозволяє визначити дрібний пил малого розміру. З використанням DHT22 можна

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначити температуру та вологість з підвищеною точністю. Також потрібно використовувати реле для вмикання та вимикання вентиляційної установки у разі зміни характеристик повітря. Далі було підраховано приблизні витрати компонентів та реалізації вентиляційної системи загалом. Визначено принципи роботи та алгоритм. Потім визначались технології реалізації програмного забезпечення на середовищі Arduino IDE. Враховувались наявні мови програмування та здійснювався вибір з урахуванням переваг та недоліків. Враховано швидкість роботи коду, наявність необхідних бібліотек, документації та складність реалізації. На основі цього було вибрано мову програмування C++.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ “РОЗУМНА ВЕНТИЛЯЦІЯ”

#### 3.1 Складові частини кіберфізичної системи

Будь-яка кіберфізична система складається з двох частин апаратна та програмна. До апаратної частини можна віднести датчики, мікроконтролер та інші апаратні частини в залежності від логіки роботи системи. Згідно теми кіберфізична система «Розумна вентиляція з відстеженням алергенів» датчики вимірюють забруднення повітря. Визначаються такі характеристики: температура, вологість, рівень вуглекислого газу, дрібнодисперсний пил та атмосферний тиск. Вони можуть розміщуватись у кімнаті на стіні на рівні грудей. Мікроконтролер ESP32 здатний обробляти визначені дані датчиками в залежності від написаної логіки. На основі цього він далі може керувати за допомогою реле вентиляцією, надсилати дані користувачу на телефон, веб-інтерфейс та Telegram-боті [38].

Також важливою для кіберфізичних систем є програмна частина. Вона забезпечує виконання алгоритмів на мікроконтролері. Програмне забезпечення може забезпечувати обробку даних, виконання функцій, візуалізацію даних у зручному для користувача вигляді та збереження даних у базі даних для подальшої обробки та здійснення аналізу [33].

Ще важливою складовою для кіберфізичних систем є мережева інфраструктура. За допомогою неї відбувається передача даних, яка визначена датчиками до хмарного сервера, мобільного застосунку або веб-сайту. Це потрібно для візуалізації даних, аналізу, статистики та відображення даних у режимі реального часу. Таким чином можна реалізувати додаток де користувач може бачити інформацію про характеристики повітря та роботу вентиляційної системи у режимі реального часу і для цього потрібно, щоб була наявна провідна або безпроводна мережа. Наприклад ESP32 має вбудований WI-FI модуль на платі, що дозволяє підключитися до Wi-Fi мережі. Для цього достатньо просто

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

прописати у кодї потрібний SSID та пароль. Після цього ESP32 отримує IP-адресу, за якою можна підключитися до сайту.

Тобто дана кіберфізична система складається з ESP32, який обробляє дані, які визначені давачем BME680 і після цього він передає інформацію на сайт за допомогою Wi-Fi мережі. Користувачі можуть переглядати сайт та бачити характеристики повітря, розуміти чи працює вентиляційна система. А вентиляційна система може працювати лише тоді коли характеристики повітря не будуть відповідати вказаним нормам. Можна зробити так, щоб можна було переглядати з будь-якого місця, але для цього потрібно публічний сервер або з використанням локальної мережі.

### 3.2 Розробка системи

Основною метою розробки є створення веб-сайту, де буде відображатися інформація про характеристики повітря, наявність алергенів, робота вентиляції. Для реалізації системи було придбано: ESP32 DevKit 38pin на базі модуля ESP32-WROOM-32 з підтримкою Wi-Fi та Bluetooth, давач температури, вологості, барометричного тиску, давач довкілля MCU-680 BME680 BOSCH (сумісний з 3,3 і 5 В системою), dupont кабелі 20 см, макетну плату MB-102 на 830 точок, давач пилу PM2.5/якості повітря PMS5003 (напруга живлення з 4,5 до 5,5 В). На рисунку 3.1 зображено макетну плату з 830 контактами, де центральне поле складається з 630 отворів та двома бічними полями по 100 отворів. Матеріал контактів: фосфорна бронза, яка нанесена на метал нікелю.

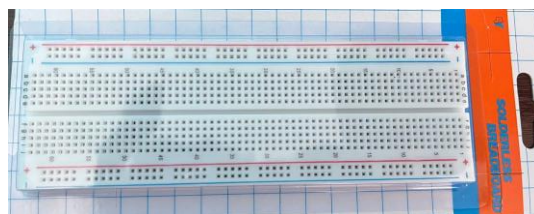


Рисунок 3.1 – Макетна плата

На рисунку 3.2 зображено давач ВМЕ680, що має інтерфейс I2C, вбудований чіп регулятора живлення та чіп перетворювача рівня сигналу. Зарезервований SPI інтерфейс.

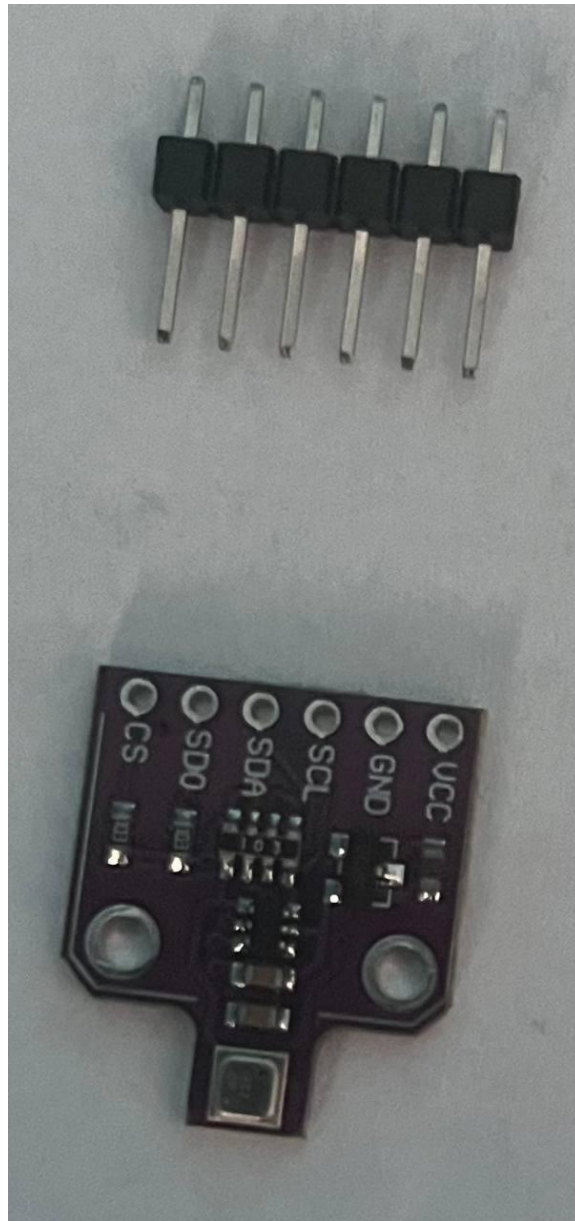


Рисунок 3.2 – Давач ВМЕ680

На рисунку 3.3 зображено давач PMS5003, що складається з вихідного інтерфейсу UART. Дозволяє визначати наявність частинок у повітря розміром від 0,3 до 10 мікрометрів.



Рисунок 3.3 – Давач PMS5003

На рисунку 3.4 зображено dupont кабель для живлення компонентів проекту.



Рисунок 3.4 – Dupont дроти

Для розробки буде використовуватися Arduino IDE та мова програмування C++. Після встановлення IDE потрібно під'єднати плату ESP32 до середовища розробки, щоб можна було прошити. Для цього потрібно підключити ESP32 кабелем Type-C to USB до ноутбука. Після цього на платі буде світитися червоний світлодіод. Це означає, що плата під'єднана. Далі на офіційному сайті було встановлено драйвер для ESP32, адже у “Диспетчері пристроїв” було вказано, що драйвер відсутній. Потім відкрив середовище розробки та встановив бібліотека для ESP32. Також після встановлення драйвера у мене з'явилась можливість вибрати COM3 порт. У налаштуваннях додав посилання для менеджера плат. У менеджері плат було вибрано ESP32 Dev Module. Після виконання ось цих дій вдалося додати плату до середовища розробки, що дозволяє розпочати програмування [43].

Перед програмуванням потрібно зробити схему. Спочатку було вирішено додати до схеми сенсор BME680. Для цього потрібно під'єднати до макетної плати BME680 та ESP32. З'єднання BME680 з ESP32 відбувається за допомогою інтерфейсу I2C. Схема підключення наведена у таблиці 3.1.

Для роботи BME680 необхідна напруга 3,3 В [34]. Нище на рисунку 3.5 наведено схему підключення датчика BME680 з ESP32.

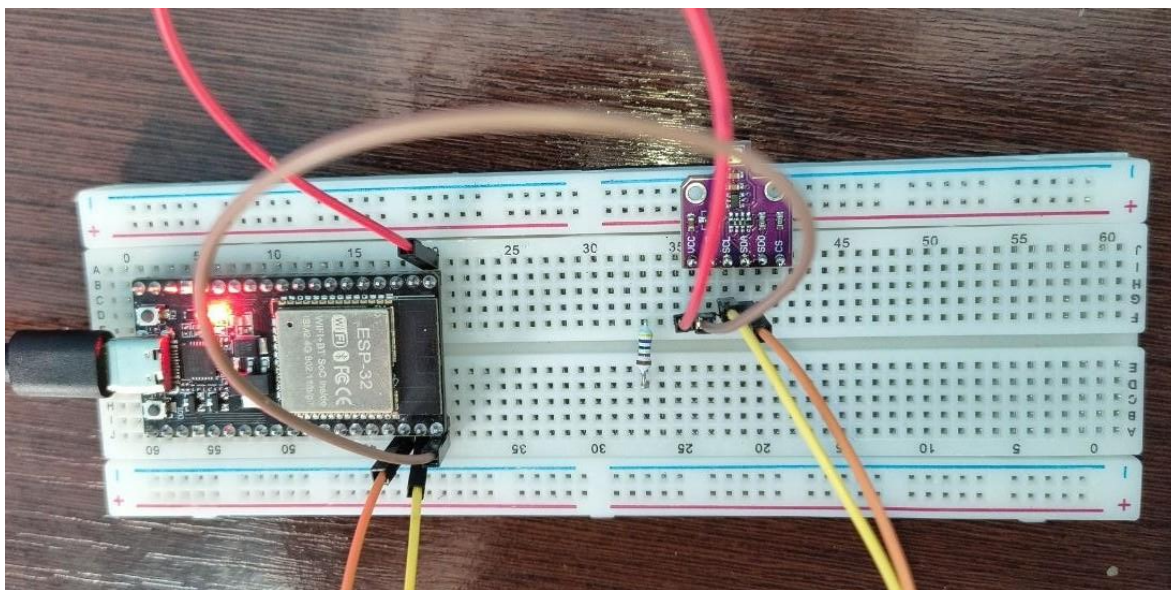


Рисунок 3.5 – Схема підключення датчика BME680 та ESP32

Таблиця 3.1 – З'єднання BME680 з ESP32 [46]

BME680	ESP32
VCC	3,3V
GND	GND
SDA	GPIO22
SCL	GPIO23

Після підключення компонентів далі потрібно написати код, що дозволяє виводити інформацію про температуру, вологість. Для цього потрібно встановити спочатку бібліотеки для роботи з датчиком. Потрібно встановити

бібліотеку Adafruit Sensor та Adafruit BME680. Встановлення бібліотеки відображено на рисунку 3.6 [45].

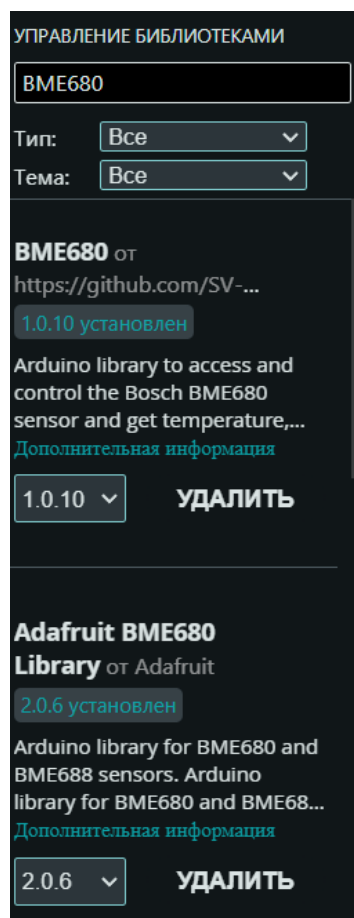


Рисунок 3.6 – Встановлені бібліотеки

Код зазвичай на C++ для програмування мікроконтролерів складається з двох функцій: `setup()` та `loop()`. `Setup()` виконується лише один раз після ввімкнення чи перезавантаження плати. Зазвичай використовується для ініціалізації датчиків, налаштування пінів, початку роботи бібліотек та підключення до мережі Wi-Fi у разі необхідності. `Loop()` представляє собою основний цикл, який працює постійно. Використовується для зчитування інформації з датчиків, оновлення значень, виконувати бізнес-логіку та відправляти дані у Blynk, веб-сервери для візуалізації даних. Тобто за допомогою `loop()` функції можна отримувати інформацію у режимі реального часу з невеликою затримкою [44].

Далі потрібно під'єднати давач PMS5003 до ESP32. Це можна здійснити за допомогою інтерфейсу UART. Схема з'єднання наведена у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – З'єднання PMS5003 з ESP32

PMS5003	ESP32
VCC	5V
GND	GND
RX	PIN17
TX	PIN18

Для роботи PMS5003 потрібно 5 В з активним споживанням струму 100 мА. Під час роботи давачу відбувається обертання вентилятора всередині сенсора. PMS5003 складається з 8 контактів. Для VCC потрібно напругу 5 В. Для GND загальне заземлення. RX використовується для прийому даних UART. TX потрібно для передачі даних з UART [35]. Індекс якості повітря є важливою характеристикою повітря. Він визначається на основі мікроскопічних твердих частинок. Тобто на основі значень PM, які вимірює давач PMS5003. Зазвичай індекс визначається на основі значень PM<sub>2.5</sub>, що мають діаметр менше 2,5 мкм. Значення PM<sub>2.5</sub> та індексу, які мають бути наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Відповідність значень PM<sub>2.5</sub> до індексу повітря [54]

PM <sub>2.5</sub> (мкг/м <sup>3</sup> )	Індекс
0 - 12	50
12,1 – 35,4	100
35,5 – 55,4	150
55,5 – 150,4	200
150,5 – 250,4	300
250,5 – 350,4	400
>350,4	500

Якщо індекс дорівнює значенню 50, то це якісне повітря. Допустимим значення індексу ще може бути до 100. Решта значень, які більші за 100 є небезпечним і повітря потребує очищення [54].

На рисунку 3.7 наведено схему підключення PMS5003 з ESP32.

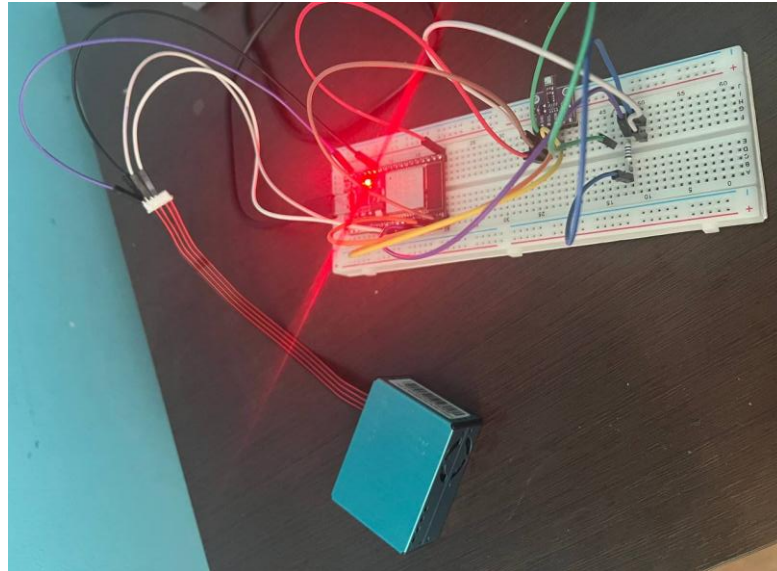


Рисунок 3.7 – Підключення PMS5003 до ESP32

Також було вирішено до схеми додати ще один датчик, який визначає температуру. Це цифровий датчик температури DS18B20. Він вирізняється високою точністю та підключається за допомогою одно-провідного інтерфейсу 1-Wire. Схема з'єднання наведена у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – З'єднання DS18B20 з ESP32

DS18B20	ESP32
VCC	3.3V
GND	GND
DATA	GPIO21

Потрібно підключити пін датчика VCC підключається до 3,3 V на ESP32 для живлення. GND датчика підключається до GND ESP32 для загальної землі. Пін

давача DATA може підключатися до будь-якого доступного піну на ESP32. Було вибрано GPIO 21. Також його необхідно підтягнути до лінії живлення через резистор, щоб забезпечити стабільні показання. Резистор використовується на 4,7 кОм. На рисунку 3.8 зображено підключення давача DS18B20 [36].

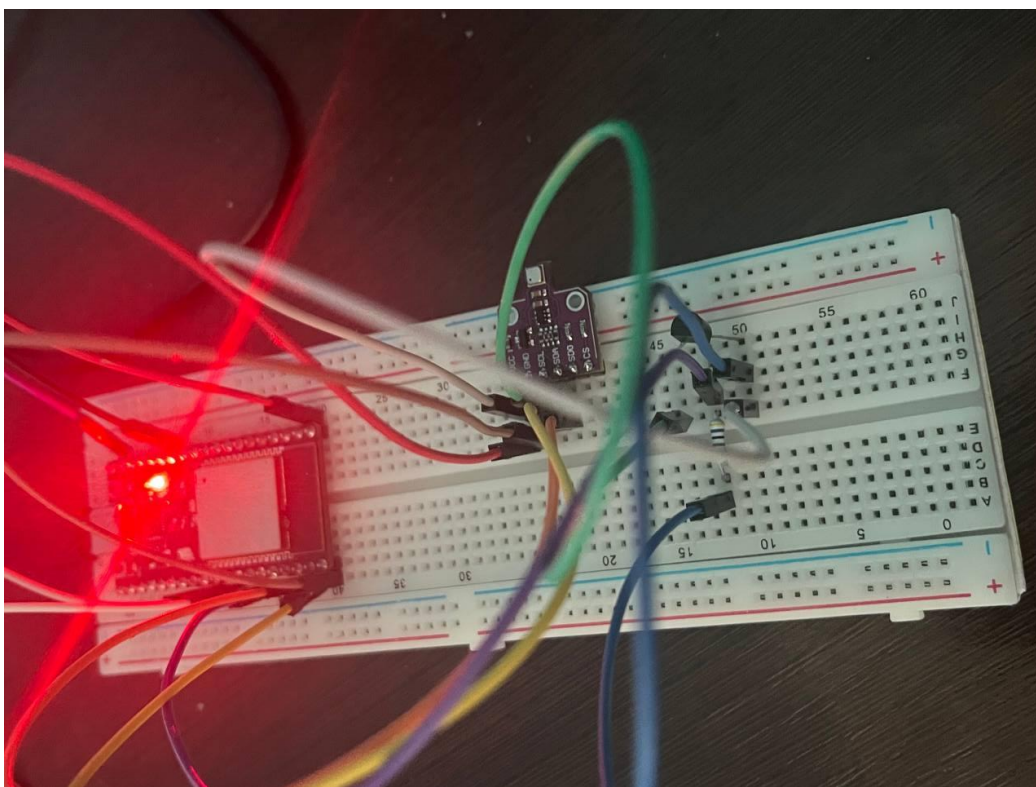


Рисунок 3.8 – Підключення DS18B20 до ESP32

Для давача потрібно DS18B20 потрібно встановити бібліотеку OneWire. Потім було здійснено спробу вивести значення характеристик повітря у консоль.

Код обробки давачу BME680:

```
wire.begin(BME_SDA, BME_SCL);  
if (!bme.begin(0x77)) {  
    Serial.println("BME680 не знайдено!");  
    while (1);  
}  
Serial.println("BME680 підключено");
```

Код обробки давачу PMS5003:

```
while (pmsSerial.available()) {
```

```

if (pmsSerial.read() == 0x42) {
  if (pmsSerial.peek() == 0x4D) {
    pmsSerial.read();
    uint8_t data[30];
    if (pmsSerial.readBytes(data, 30) == 30) {
      pm1 = (data[8] << 8) | data[9];
      pm25 = (data[10] << 8) | data[11];
      pm10 = (data[12] << 8) | data[13];
      break;
    }
  }
}
}

```

На рисунку 3.9 наведено результати роботи програми в консолі.

```

===== ДАНІ =====
Температура BME680: 23.20 °C
Температура DS18B20: 22.50 °C
Вологість: 51.28 %
PM1.0: 171 ug/m3
PM2.5: 267 ug/m3
PM10: 282 ug/m3
AQI: 400

```

Рисунок 3.9 – Відображення результатів датчиків у консолі

Далі було вирішено використовувати платформу Blynk. Вона дозволяє реалізовувати мобільні та веб панельні. На ній можна розміщувати текстові поля, графіки, кнопки, меню вибору значень. Тобто дані визначені з датчиків можуть передаватись на платформу та виводитись у режимі реального часу. Але для того, щоб користуватись даною платформою потрібно здійснити реєстрацію та авторизацію. Далі потрібно перейти до «Developers» та створити «New Template». Потім потрібно вказати назву шаблону «BME» та вибрати апаратне забезпечення ESP32. Спосіб підключення вказати Wi-Fi [44]. Потрібно

враховувати, що у безкоштовній версії є обмеження на кількість користувачів, пристроїв та запитів, які будуть надходити на сервер Blynk. Далі можна переходити до створеного шаблону та розпочати створення Web Dashboard. Для виведення температури, вологості, PM1.0, PM2.5, PM10, статус повітря можна використати віджет «Label» Далі потрібно перейти у налаштуваннях кожного віджету. Для будь-якого віджету потрібно створити Datastream. При створенні Datastream потрібно вказати Virtual Pin. Він має бути такий, який буде вказаний в коді у подальшому для успішної взаємодії з Blynk. Далі потрібно вказати тип даних. Він повинен відповідати заданій величині. Наприклад для температури, вологості може підійти double. Для PM1.0, PM2.5 та PM10 integer, для статусу string. Ще потрібно вказати, яке значення може приймати. Наприклад температура від 0 до 50 градусів. Ще можна вказати одиниці вимірювання за необхідності [37]. На рисунку 3.10 наведено налаштування віджету.

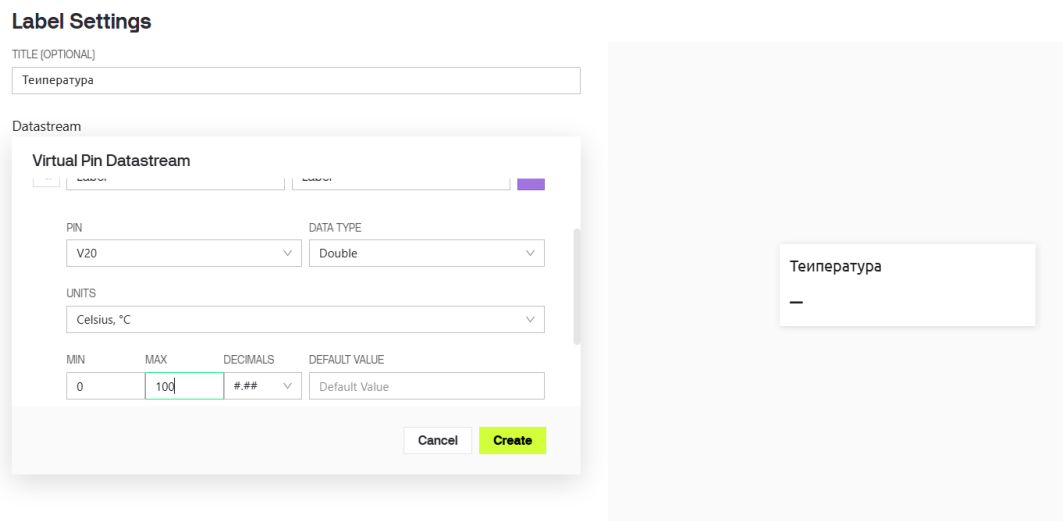


Рисунок 3.10 – Налаштування віджету температури

Для виведення індексу якості повітря можна скористатися віджетом Gauge. Для температури можна створити діаграму, яка буде показувати температуру впродовж дня відповідно до кожної години. Для цього потрібно у налаштуваннях Datastream увімкнути збереження історії значень. Також можна додати Label для вентиляції і переглядати чи працює вентиляція. Можна надати можливість

користувачам вмикати за певними рівнями вентиляцію або вимикати її взагалі. Тому для цього було додано кнопку та список з меню де користувачі можуть вибрати режими роботи [37]. На рисунку 3.11 наведено налаштування списку меню.

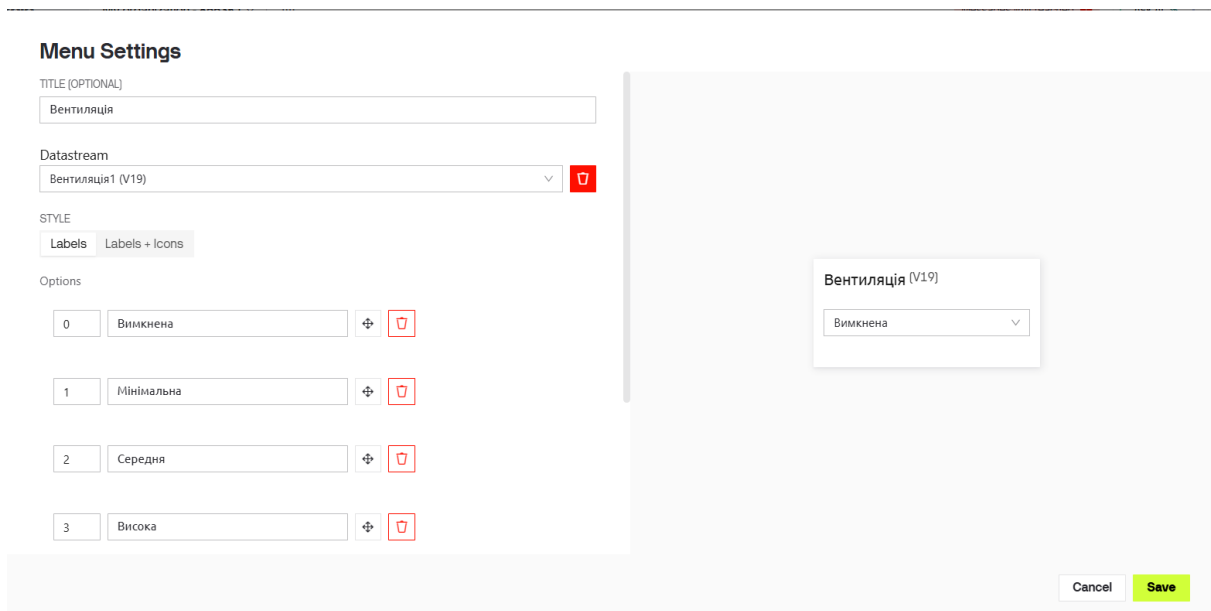


Рисунок 3.11 – Налаштування списку меню

Також можна додати віджет, який може аналізувати на основі температури, вологості, PM1.0, PM2.5, PM10 та індексу якості повітря ймовірність наявності алергенів у повітрі (рис 3.12). Адже на основі цих датчиків можна визначати дрібний пил, пилок, спори грибків. Висока температура може сприяти розмноженню пилових кліщів, бактерій, а вологість може викликати появу плісняви. Це все може сприяти наявності алергенів або появи їх в подальшому. Тобто дані сенсори визнають умови згідно, яких можуть бути алергени [37].

Для реалізації мобільної версії потрібно встановити Vlynk на смартфон. Можна встановити його, як на IOS так і на Android. Далі потрібно авторизуватися до раніше створеного акаунту на веб-сайті Vlynk. Після цього можна побачити шаблон, який було створено раніше на сайті. Тут схожим чином додаються

віджети. Лише важливо вказати правильно Virtual Pin, які будуть відповідати написаному коду та Web Dashboard [37].

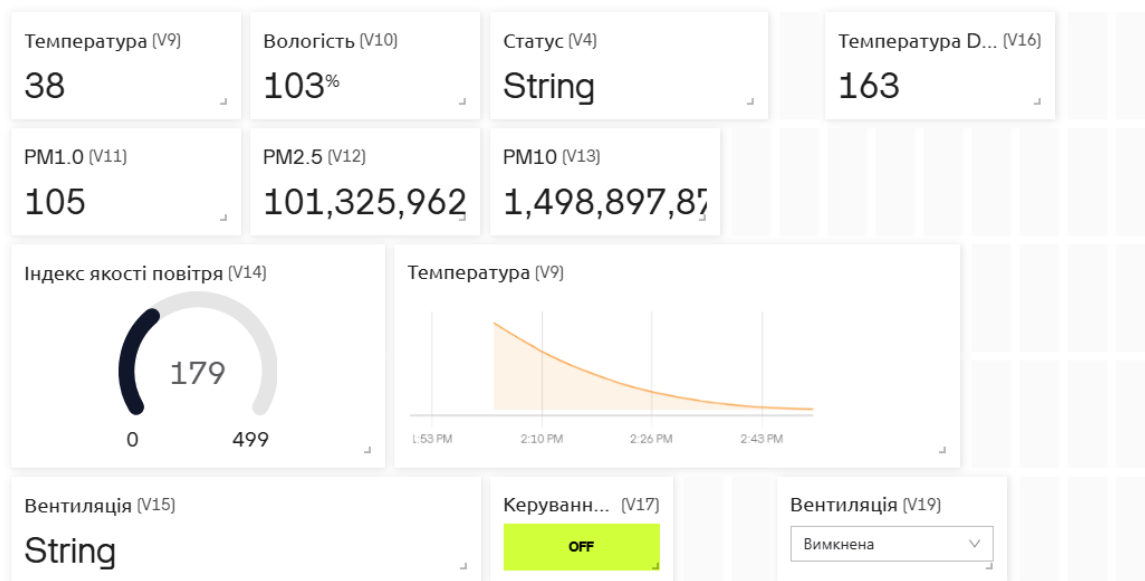


Рисунок 3.12 – Вигляд Web Dashboard

Далі можна переходити до написання коду в Arduino IDE. Потрібно, щоб мікроконтролер ESP32 підключився до мережі Wi-Fi. Для цього потрібно спочатку встановити бібліотеку Wire.h. Також важливо скопіювати зі створеного шаблону в Blynk назву шаблону, ідентифікатор та токен. Це потрібно для того, щоб з коду можна було підключитися до конкретного шаблону. У коді також потрібно вказати назву мережі до якої потрібно підключитися та пароль. Виведення інформації з датчиків у віджети відбувається наступним чином:

```
Blynk.virtualWrite(V9, temp);  
Blynk.virtualWrite(V10, hum);  
Blynk.virtualWrite(V11, pm1);  
Blynk.virtualWrite(V12, pm25);  
Blynk.virtualWrite(V13, pm10);  
Blynk.virtualWrite(V14, aqi);  
Blynk.virtualWrite(V4, airStatus(aqi));  
Blynk.virtualWrite(V15, ventilationStatus(aqi));  
Blynk.virtualWrite(V16, dsTemp);
```

Далі було вирішено реалізувати так, щоб коли наприклад у приміщення наявне шкідливе повітря або температура більша за 24 градуси вмикається внутрішній синій світлодіод. Було визначено, що за вмикання світлодіоду для цього ESP32, який використовується для реалізації проекту потрібно використовувати другий пін. На рисунку 3.13 продемонстровано блимання світлодіоду.

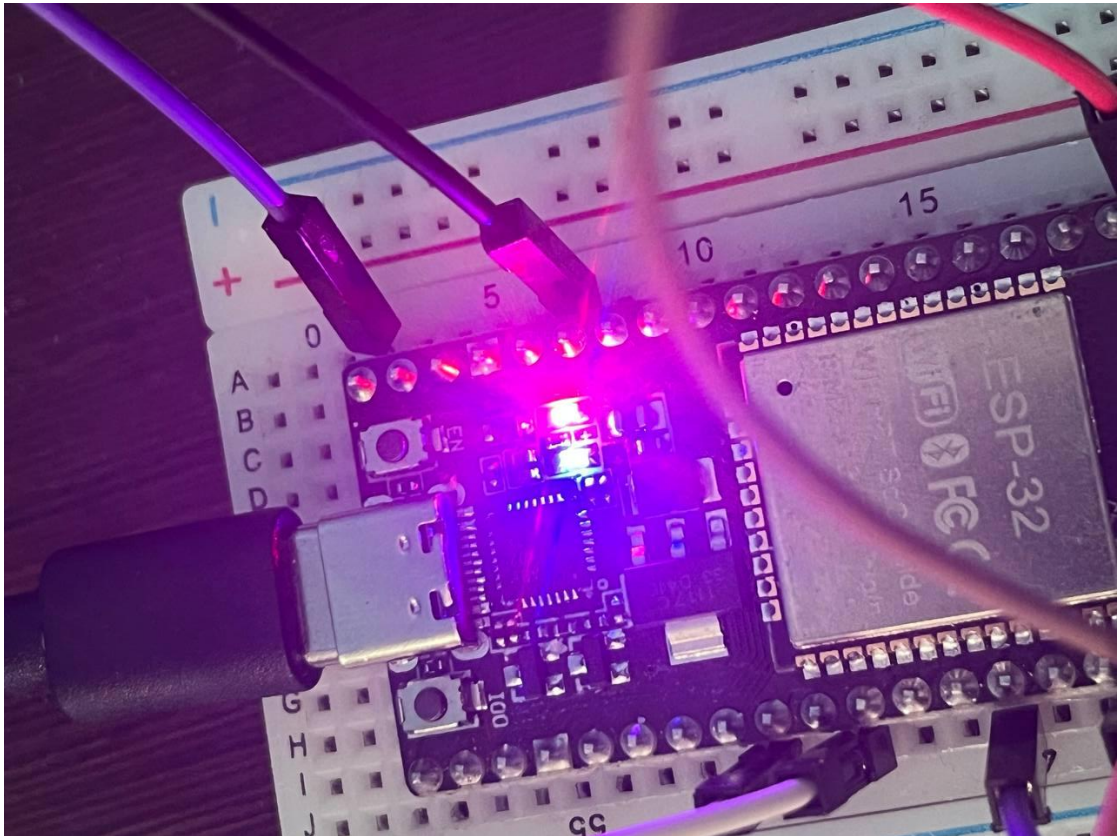


Рисунок 3.13 – Блимає синій світлодіод за визначеними умовами

На рисунку 3.14 зображено результат роботи в консолі з виявленням алергенів.

Дані на сайті оновлюються на сайті за 10 секунд. Також користувача є можливість обирати режими роботи вентиляції і після натиску на кнопку «Керування вентиляцією» буде змінено статус вентиляції.

Потім на рисунку 3.16 зображено результати роботи на смартфоні.

```

Температура BME680: 25.12 °C
Температура DS18B20: 24.50 °C
Вологість: 41.55 %
PM1.0: 0 ug/m3
PM2.5: 1 ug/m3
PM10: 2 ug/m3
AQI: 50
Стан повітря: Добре
Вентиляція: Вимкнена
Ймовірність алергенів: Низька ймовірність
Можливі алергени: Алергени майже не виявлені

```

Рисунок 3.14 – Результат роботи в консолі

Далі показано результати роботи в Vlynk на рисунку 3.15.

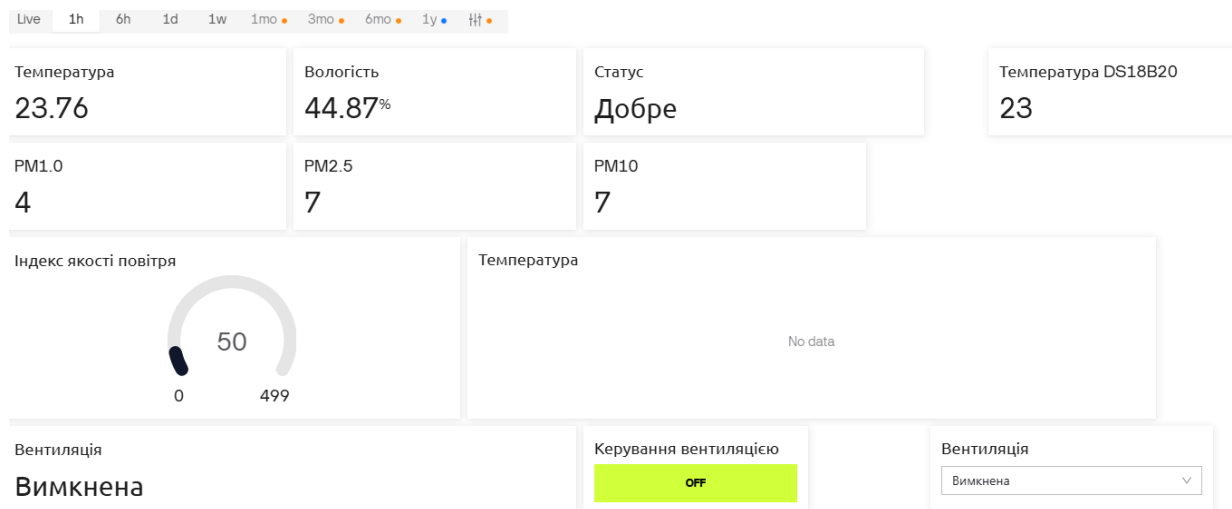


Рисунок 3.15 – Результат роботи в Vlynk

Було вирішено реалізувати сповіщення, які будуть приходити на смартфон у разі наявності шкідливого повітря з алергенами. Vlynk надає таку можливість. Для початку при встановленні додатку Vlynk потрібно дозволити появу сповіщень. Потім треба перейти у налаштування Events. Створюємо Events з відповідною назвою. Далі потрібно вказати коментар, який буде приходити на смартфон. Сповіщення у безкоштовній версії Vlynk можуть приходити на Email та push повідомлення. SMS доступні лише у платній версії. Можна у

налаштуваннях увімкнути дозвіл керування сповіщенням у мобільному додатку. Також можна додати гучні звуки при сповіщенні. Є ще можливість вказати інтервали часу за яким буде приходити сповіщення. На рисунку 3.17 продемонстровано роботу сповіщення.

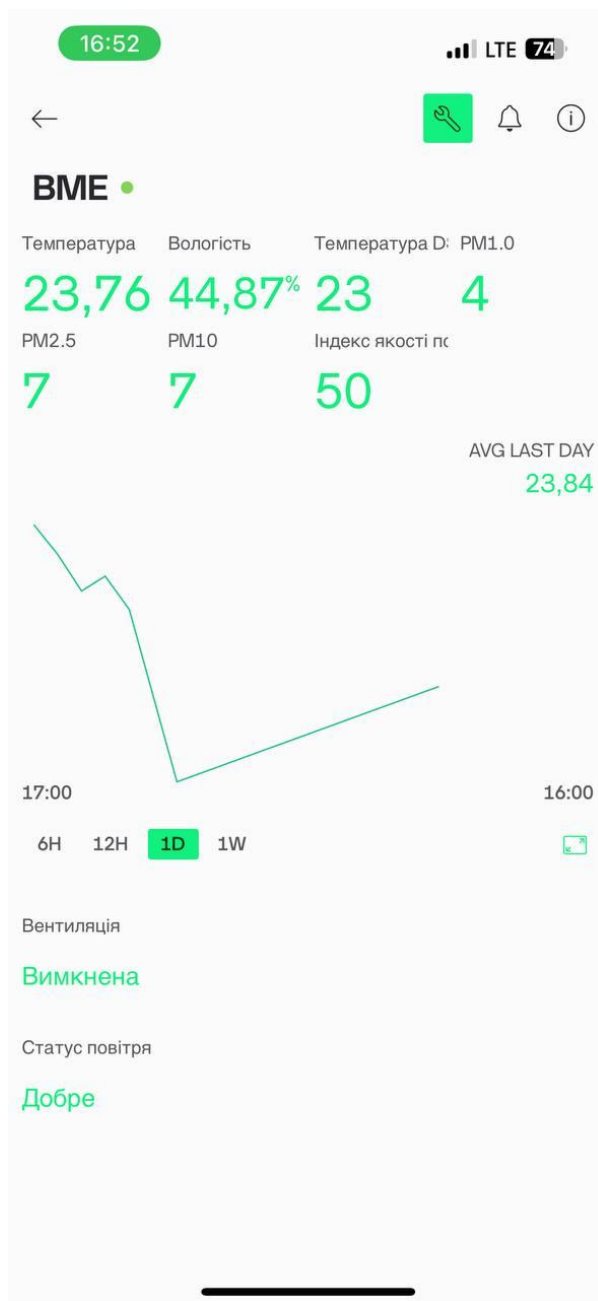


Рисунок 3.16 – Результат роботи на смартфоні

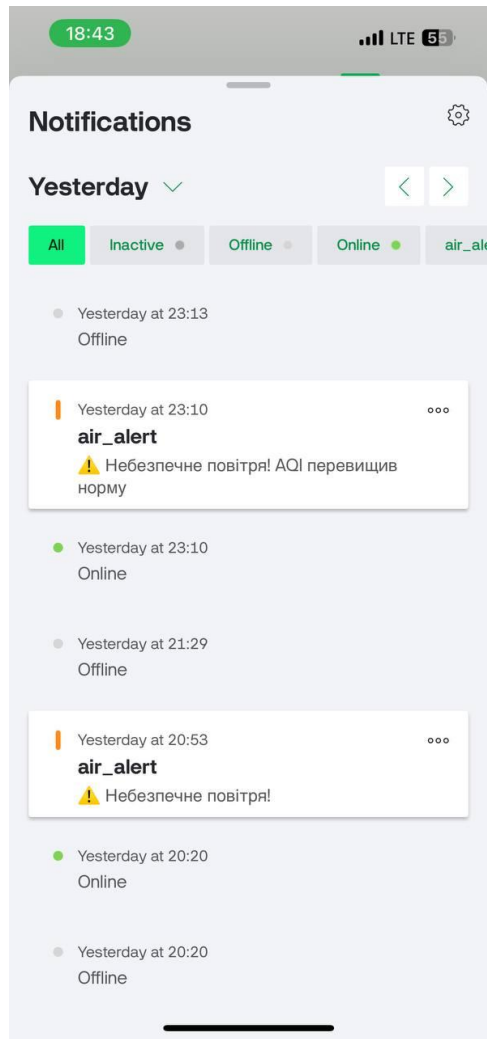


Рисунок 3.17 – Поява сповіщень у разі неякісного повітря

Код реалізації push сповіщення:

```
if (aqi >= 150 && !notificationSent) {  
    Blynk.logEvent(  
        «air_alert»,  
        «Небезпечне повітря! AQI перевищив норму»  
    );  
    Serial.println(«PUSH ВІДПРАВЛЕНО»);  
    notificationSent = true;  
}  
if (aqi < 100) {  
    notificationSent = false;  
}
```

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ

Арк.  
57

}

Також було вирішено реалізувати симуляцію обертання вентилятора в залежності від значень характеристик повітря. На основі індексу якості повітря, температури, вологості, РМ значень та ймовірності алергенів визначається чи потрібне обертання вентиляції. Для цього у Blynk на сайті було додано текстове поле у якому буде виводитись статус вентиляції та кнопку для зміни цього статус користувачем за необхідності. На рисунку 3.18 зображено кінцевий вигляд сайту з статусом вентиляції та кнопки для зміни режиму роботи вентиляції та автоматичної роботи на основі визначених даних.

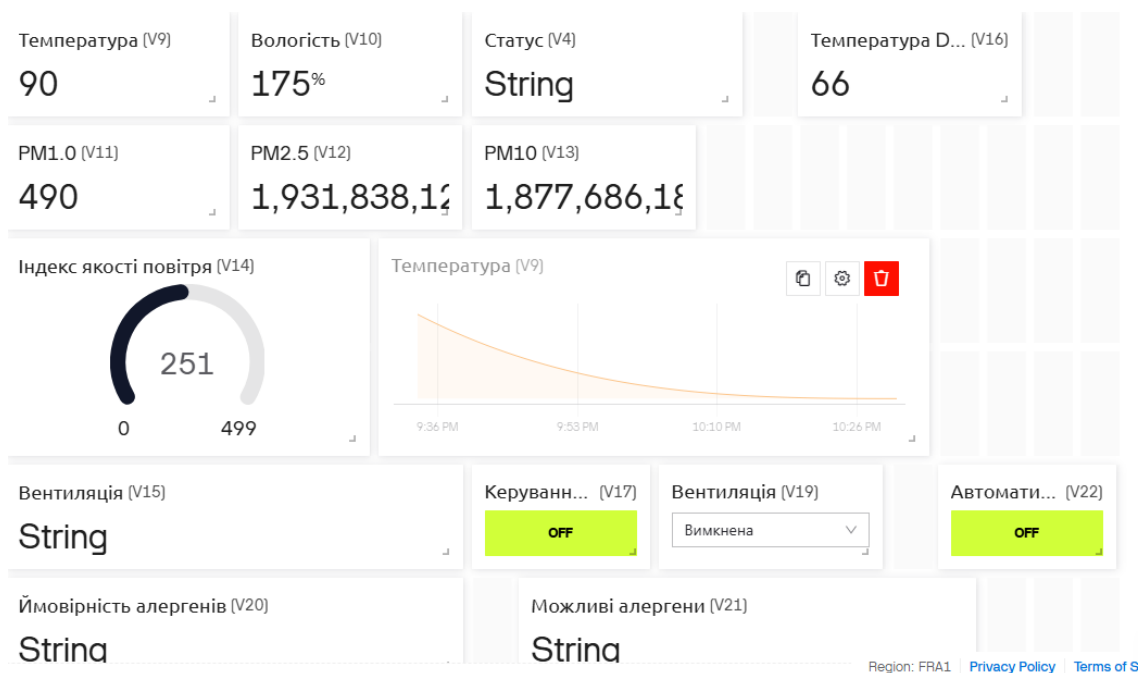


Рисунок 3.18 – Кінцевий вигляд Dashboard

Для симуляції вентилятора, було вирішено написати код на Python, який створює дві лінії, що перетинаються перпендикулярно і обертаються в залежності від значень статусу вентиляції. Чим вище значення статусу тим швидше відбувається обертання. Підключення до Blynk відбувається за допомогою токена так само, як і в C++. Звернення до рівня вентиляції відбувається за допомогою URL адреси. На рисунку 3.19 зображено зовнішній вигляд симуляції вентилятора.

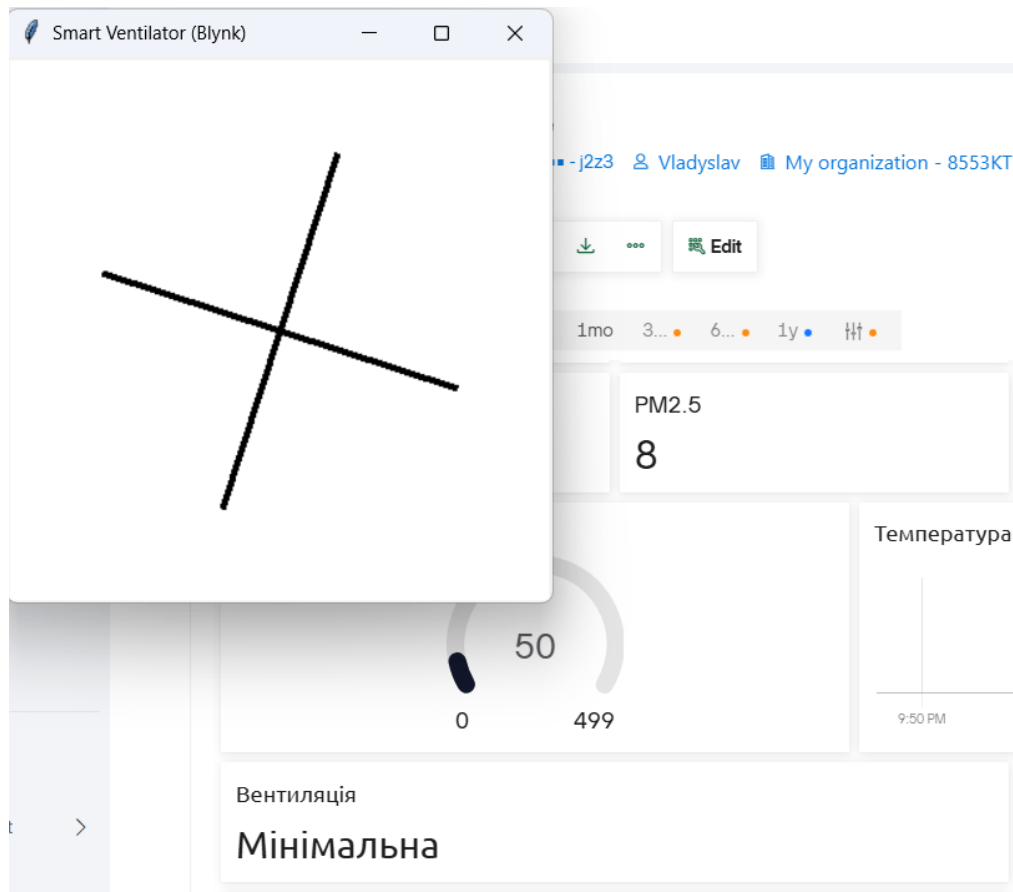


Рисунок 3.19 – Симуляція обертання вентилятора

Отже, вдалося зібрати з датчиків BME680, PMS5003 та DS18B20, мікроконтролера ESP32, макетною платою та dupont дротами пристрій, який дозволяє визначати характеристики повітря. За допомогою мови програмування C++ вдалося реалізувати логіку роботи пристрою. Вдалося реалізувати вивід характеристик повітря на платформу Blynk у мобільному додатку та сайті. Якщо ж неякісне повітря, то приходить сповіщення користувачу. Також реалізовано блимання внутрішнього світлодіоду ESP32, якщо не відповідає вимогам індекс повітря та температура у приміщенні. Є ще можливість змінювати режими роботи вентиляції. Також реалізовано графік температури приміщення де користувачі можуть переглядати, яка у середньому була температура протягом дня, тижня та місяця. На основі вологості, температури, індексу повітря визначається ймовірність наявності алергенів та які саме. Користувачі можуть

вмикати вентиляцію або вентиляція вмикається на основі значень характеристик повітря. Ще було здійснено симуляцію обертання вентилятора.

### 3.3 Тестування

Тестування є важливим етапом розробки програмного забезпечення. Цей процес виконується з метою виявлення дефектів, помилок та недоліків перед випуском його на ринок або в експлуатацію. Цей процес охоплює запуск програм з різними вхідними даними та умовами, а також аналіз реакції програми. Мета тестування – це підтвердження правильності роботи програми відповідно до вимог до неї, а також забезпечення високої якості та надійності програмного продукту. Ручне тестування – це один з найпопулярніших і найпростіших видів тестування. Це спосіб пошуку вразливостей та свідомого виявлення непомічених раніше дефектів. У світі багаторівневого програмного забезпечення ручне тестування є важливим етапом, який може розкривати те, що і навіть запрограмовані тести не можуть. У даному випадку використовувалось ручне тестування [39].

Після завершення розробки було проведено комплексне тестування програмної та апаратної частини проекту. Основною метою була перевірка правильності отримання даних з сенсорів, коректності передачі даних до хмарної технології Vlynk, а також перевірка коректності аналізу повітря на основі визначених характеристик повітря та вірності прогнозування можливих алергенів. Тестування проводилось над наступними частинами системи:

- Давач BME680;
- Давач PMS5003;
- Давач DS18B20;
- Wi-Fi підключення;
- push-сповіщення;
- алгоритм визначення якості повітря;

- система індикації світлодіодом;
- алгоритм оцінювання ймовірності наявності алергенів;
- робота в мобільному застосунку Blynk.

Тестування датчика BME680 проводилась за визначенням температури і вологості в приміщенні. Під час тестування відбувалось зчитування даних у режимі реального часу з подальшими виведенням в консоль та в додаток Blynk. Відбувалось порівняння з побутовим термометром для виявлення можливої похибки. Також було проведено тестування шляхом торкання рукою датчика, що призвело збільшення показників температури. На рисунку 3.20 наведено результати роботи до тестування за оптимальних умов.

```

..
Температура BME680: 25.12 °C
Температура DS18B20: 24.50 °C
Вологість: 41.55 %
PM1.0: 0 ug/m3
PM2.5: 1 ug/m3
PM10: 2 ug/m3
AQI: 50
Стан повітря: Добре
Вентиляція: Вимкнена
Ймовірність алергенів: Низька ймовірність
Можливі алергени: Алергени майже не виявлені

```

Рисунок 3.20 – Результати роботи до тестування

Температура підвищилась, навіть вологість змінилась після дотику. Це може свідчити про те, що датчик справний і може реагувати на зовнішні фактори. Також можна здійснити перевірку вологості шляхом увімкнення зволожувача, провітрювання кімнати тощо. Схожим чином було здійснено тестування і для датчика DS18B20. Варто відзначити, що в звичайних умовах є різниця між температурами цих двох датчиків, що сягає близько одного градусу.

```

===== ДАНІ =====
Температура BME680: 26.05 °C
Температура DS18B20: 25.50 °C
Вологість: 71.64 %
PM1.0: 0 ug/m3
PM2.5: 0 ug/m3
PM10: 0 ug/m3
AQI: 50
Стан повітря: Добре
Вентиляція: Вимкнена
Ймовірність алергенів: Середня ймовірність
Можливі алергени: Пліснява, грибок; Пилові кліщі;
=====

```

Рисунок 3.21 – Результати роботи після тестування

Далі було проведено тестування давача PMS5003. Це можна здійснити підпалом паперу у приміщенні. Коли з'явиться дим можна переглянути, як відреагує давач. У звичайних умовах у чистому приміщенні PM1.0, PM2.5 та PM10 мають близькі до нуля значення. Після проведення тестування було вразі підвищено PM значення, що порушує норми індексу якісного повітря у приміщенні. До того ж надійшло повідомлення про забруднене повітря в додаток Blynk. На рисунку 3.22 наведено результати роботи після тестування давача PMS5003.

```

===== ДАНІ =====
Температура BME680: 23.20 °C
Температура DS18B20: 22.50 °C
Вологість: 51.28 %
PM1.0: 171 ug/m3
PM2.5: 267 ug/m3
PM10: 282 ug/m3
AQI: 400

```

Рисунок 3.22 – Результати після проведення тестування давачу PMS5003

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Також було перевірено систему індикації внутрішнього світлодіоду. Внутрішній світлодіод має горіти, якщо температура більше 24 градуси або неякісне повітря у приміщенні. Після перевірки було виявлено, що індикація працює.

Далі було переглянуто відповідність виведення даних в консолі та в Blynk. Було виявлено, що дані ідентичні.

Під час перевірки перевірялась швидкість оновлення інформації та стабільність передавання даних. Дані оновлюються швидко, майже в режимі реального часу.

Отже, тестування є важливим етапом розробки програмного забезпечення і впливає на якість розробки кінцевого продукту. Згідно тестування проекту відбувалась перевірка програмної та апаратної складової. Перевірялися датчики на предмет коректності визначення характеристики повітря та порівняння з побутовими пристроями, створювались спеціальні умови на які датчики реагували у вигляді зміни результату.

### 3.4 Висновки

У третьому розділі було реалізовано програмно-апаратну частину кіберфізичної системи та здійснено тестування. Було створено апаратну частину на базі мікроконтролера ESP32, датчиків BME680, PMS5003 та DS18B20 з використанням макетної плати та dupont дрітків. Програмну частину реалізовано за допомогою мови програмування C++. Отримані дані передаються на хмарну платформу Blynk на мобільний додаток і на сайт. Інформація передається у режимі реального часу та за допомогою безпроводної мережі Wi-Fi.

Також було проведено тестування. Перевірено стабільність роботи програмної та апаратної частини. За результатами тестування було виявлено коректність роботи датчиків, визначення індексу якості повітря, ймовірної наявності алергенів.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було виконано повний цикл розробки кіберфізичної системи від аналізу існуючих рішень, технологій, проектування, реалізації та тестування готового продукту.

У першому розділі було проведено аналіз кіберфізичної системи “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”. Розглянуто як побудовані та працюють існуючі рішення та можливі технології для реалізації. На основі цього було сформовано вимоги для подальшої реалізації.

У другому розділі було здійснено проектування системи. Визначено компоненти з яких буде складатися система. Серед них датчики (PMS5003, BME680, DS18B20), мікроконтролер ESP32, макетна плата та dupont дроти. Визначено також вартість реалізації компонентів та реалізації. Здійснено вибір мови програмування та технології реалізації.

У третьому розділі реалізовано апаратну та програмну частину проекту. Здійснено вивід інформації з датчиків у Blynk, побудова графіку, отримання сповіщення через неякісне повітря, виведення інформації про алергени та змодельовано ручне увімкнення вентиляції. Також було проведено тестування програмного та апаратного забезпечення.

У результаті роботи було створено IoT систему, яка може використовуватись для моніторингу характеристик повітря, відстеження алергенів. Ця система є гнучкою, зручною для користувачів, доступною незалежно від операційної системи користувача є перспективи розвитку та масштабування даного проекту.

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Розумна вентиляція Vents URL: <https://vents-shop.com.ua/> (Дата звернення: 23.02.2026).
2. Розумна вентиляція: покращення якості повітря URL: <https://smartdim.com.ua/> (Дата звернення: 23.02.2026).
3. Vents URL: <https://vents.ua/about/> (Дата звернення: 23.02.2026).
4. Jablotron URL: <https://jablotronlt.com.ua/> (Дата звернення 24.02.2026).
5. Alter Air URL: <https://alterair.ua/ventilyatsiya/umnaya-sistema-ventilyatsii/> (Дата звернення 24.02.2026).
6. Що таке мікроконтролер і як він працює? URL: <https://www.wonderfulpcb.com/uk/blog/what-is-a-microcontroller-and-how-does-it-work/> (Дата звернення 24.02.2026).
7. Winsen Sensors URL: <https://uk.winsen-sensor.com/knowledge/what-is-co2-sensor.html?campaignid> (Дата звернення 25.02.2026).
8. Давачи вологості URL: <https://inpost.pl/ua/novyny-datchyky-volohosti-yak-vony-pratsyuyut-i-dlya-choho-vykorystovuyutsya> (Дата звернення 25.02.2026).
9. Rajankar A. Arduino Made Simple. New Delhi: BPB Publications, 2018. 180 р.
10. Seneviratne P. Hands-On of Things with Blynk: Build on the power on Blynk to configure smart devices and build exciting IoT projects. Birmingham: Packt Publishing, 2018. 246 р.
11. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ: Мінрегіон України, 2013.
12. Arduino Uno URL: <https://rozetka.com.ua/ua/> (Дата звернення 05.04.2026).
13. Налагоджувальна плата Raspberry Pi Pico URL: <https://www.kosmodrom.ua/news/nalagodzhualna-plata-raspberry> (Дата звернення 05.04.2026).

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14. STM32 для новачків URL: <https://dou.ua/forums/topic/52283/> (Дата звернення 05.04.2026).
15. Raspberry Pi Pico URL: <https://rozetka.com.ua/ua/> (Дата звернення 05.04.2026).
16. STM32 URL: <https://rozetka.com.ua/ua/> (Дата звернення 06.04.2026).
17. ESP32 vs Arduino URL: <https://root-nation.com/ua/articles-ua/diy-ua/ua-korol-iot-zminivsy-a-chomu-esp32-kidae-viklik-arduino-u-2025/> (Дата звернення 06.04.2026).
18. Guide for BME680 Sensor URL: <https://randomnerdtutorials.com/bme680-sensor-arduino-gas-temperature-humidity-pressure/> (Дата звернення 07.04.2026).
19. DHT22 Temperature-Humidity Sensor URL: <https://milkv.io/docs/> (Дата звернення 09.04.2026).
20. Давач вуглекислого газу CO2 MH-Z19B модуль URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-co2> (Дата звернення 07.04.2026).
21. Давач пилу PM2.5 URL: [https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-kachestva-vozdruha-pm2\\_5](https://www.mini-tech.com.ua/ua/datchik-kachestva-vozdruha-pm2_5) (Дата звернення 09.04.2026).
22. Що таке реле? – Strum URL: <https://strum.org.ua/articles/shcho-take-rele/> (Дата звернення 09.04.2026).
23. Макетна плата URL: <https://bitkit.com.ua/maketna-plata> (Дата звернення 11.04.2026).
24. Kurniawan A. Internet of Things Projects with ESP32: Build exciting and powerful IoT project using the all-new Expressif ESP32. Birmingham: Packt Publishing, 2019. 252 p.
25. Мікроконтролер ESP32 URL: <https://rozetka.com.ua/ua/> (Дата звернення 07.04.2026).
26. Давач BME680 URL: <https://rozetka.com.ua/ua/> (Дата звернення 09.04.2026).
27. Давач DHT22 URL: <https://rozetka.com.ua/ua/> (Дата звернення 09.04.2026)

28. Kumar P., Jain V., Ponnusamy V. The Smart Cyber Ecosystem for Sustainable Development. Hoboken: Wiley-Scrivener, 2021. 443 p.
29. Hendry I. ESP32 Development using the Arduino IDE URL: [https://myarduino.dk/ESP32\\_Development.pdf](https://myarduino.dk/ESP32_Development.pdf) (Дата звернення 12.04.2026).
30. Rust: переваги і недоліки. URL: <https://dou.ua/forums/topic/46708/> (Дата звернення 12.04.2026).
31. Сервіс Blynk. URL: <https://oxorona.com/blynk/> (Дата звернення 16.04.2026).
32. IoT system architecture URL: <https://www.researchgate.net/figure/> (Дата звернення 17.04.2026).
33. Marwedel P. Embedded system design: embedded systems foundations of cyber-physical systems, and the Internet of things. Cham: Springer, 2021. 433 p.
34. ESP32: BME680 Environmental Sensor using Arduino IDE URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-bme680-sensor-arduino/> (Дата звернення 22.04.2026).
35. PMS5003 Arduino URL: <https://pcbsync.com/pms5003-arduino/> (Дата звернення 25.04.2026).
36. ESP32 DS18B20 Temperature Sensor with Arduino IDE URL: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-ds18b20-temperature-arduino-ide/> (Дата звернення 27.04.2026).
37. Blynk Documentation URL: <https://docs.blynk.io/en> (Дата звернення 29.04.2026).
38. Chen J. A Journey of Embedded and Cyber-Physical Systems. Springer, 2021. 192 p.
39. Що таке тестування ПЗ URL: <https://university.sigma.software/what-is-software-testing/> (Дата звернення 01.05.2026).
40. Smart ventilation URL: <https://build-up.ec.europa.eu/en/resources-and-tools/articles/smart-ventilation-healthier-indoor-air-less-energy> (Дата звернення 24.02.2026).

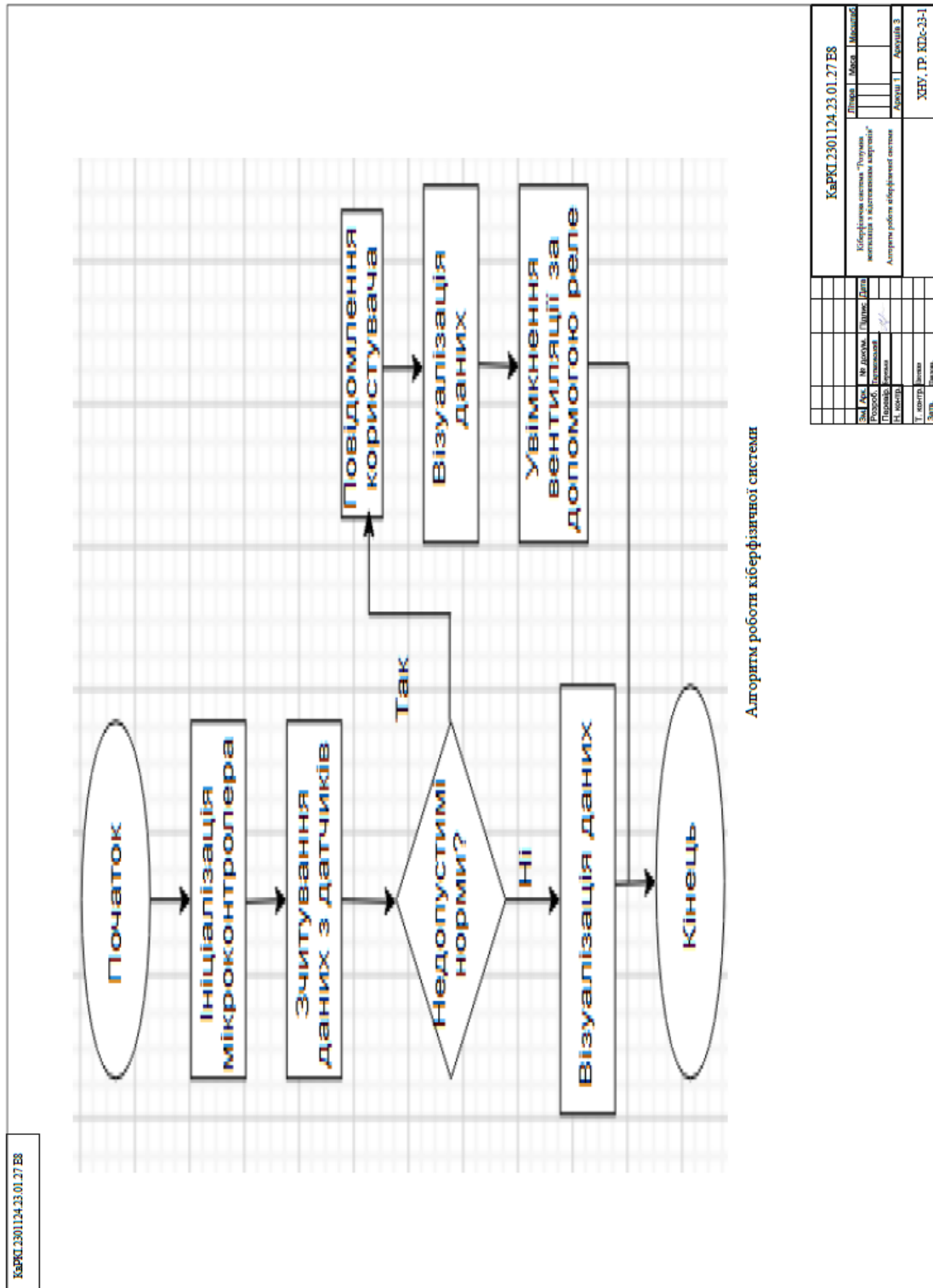
					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

41. Посібник з мікроконтролерів ESP32 URL: <https://ua.ariat-tech.com/blog/ESP32-Microcontroller-Guide.html> (Дата звернення 03.03.2026).
42. Розумна вентиляція: що це URL: <https://www.infopotik.com.ua/rozumna-ventilyaciya> (Дата звернення 08.03.2026).
43. ESP32 Arduino URL: <https://itmaster.biz.ua/electronics/esp32/esp32-arduino.html> (Дата звернення 05.04.2026).
44. Oner V.O. Developing IoT with ESP32: Unlock the Full Potential of ESP32 in IoT Development to Create Production-Grade Smart Devices. Birmingham: Packt Publishing, 2023. 541 p.
45. Zulfigar A. Hands-on ESP32 with Arduino IDE: Unleash the Power of IoT with ESP32 and Build Exciting Project with this Practical Guide. Birmingham: Packt Publishing, 2024. 272 p.
46. IoT Based Air Quality Monitoring System with ESP32 & BME680 URL: <https://www.hackatronic.com/air-quality-monitoring-system-with-esp32-bme680/> (Дата звернення 03.05.2026).
47. Реле URL: <https://rozetka.com.ua/ua/> (Дата звернення 09.04.2026).
48. Типи баз даних URL: <https://dou.ua/lenta/articles/types-of-databases/> (Дата звернення 10.02.2026).
49. DS18B20 Temperature Sensor URL: <https://www.amphero.com/blog/> (Дата звернення 09.04.2026).
50. Що таке Thread-технологія URL: <https://journal.ilounge.ua/ua/review/> (Дата звернення 27.02.2026).
51. LoRa та LoRaWAN URL: <https://jooby.eu/uk/blog/lora-ta-lorawan-revolyuciya-v-pidyednanni-do-intetu/> (Дата звернення 27.02.2026).
52. Що таке Zigbee URL: <https://xterm.com.ua/> (Дата звернення 27.02.2026).
53. Детектор VOC URL: <https://promsystem.com.ua/product/pce-voc-1-detektor-gaziv-voc-i-formaldegidu/> (Дата звернення 22.05.2026).
54. Шкала індексу якості повітря URL: <https://aqicn.org/scale/uk/> (Дата звернення 22.05.2026)

					КвРКІ.2301124.23.01.27 ПЗ	Арк. 68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

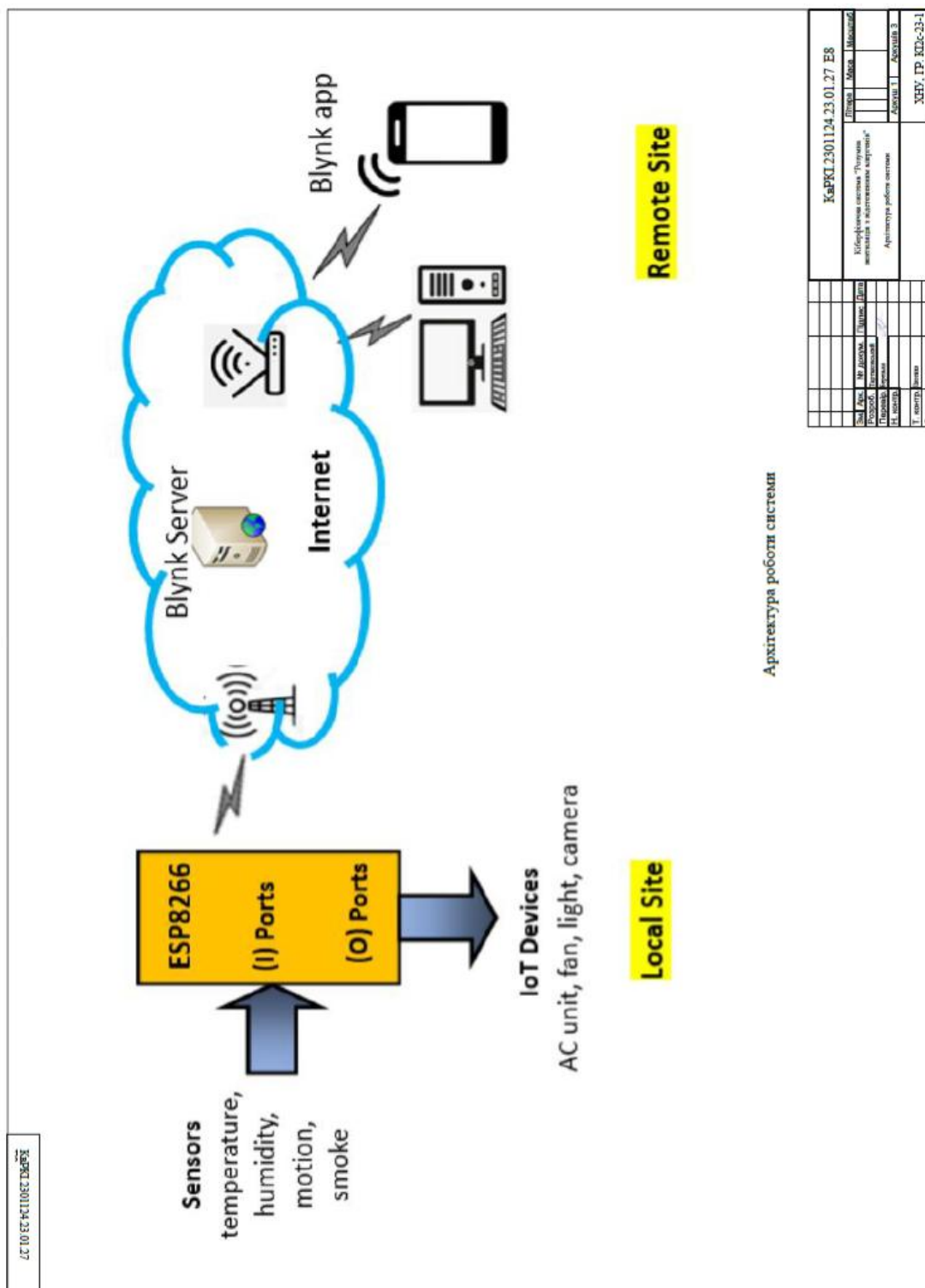
**ДОДАТОК А**  
**(обов'язковий)**

**Копія креслення «Алгоритм роботи кіберфізичної системи»**



ДОДАТОК Б  
(обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура роботи системи»



КаПКІ.2301124.23.01.27

Архітектура роботи системи

КаПКІ.2301124.23.01.27.Е8		Питання	Місце	Місце
Стор. Акт.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.	Виконав.			
Перевір.	Затверд.			
Ін. мейстер				
І. мейстер				
Зам.				
Київський національний університет «Українська академія комунікацій»				Харків, ІП. КД-С-23-1
Архітектура роботи системи				Архитект. 1
				Архитект. 2

## ДОДАТОК В (обов'язковий)

### Копія креслення «Апаратна та програмна реалізація проекту»

Live 1h 6h 1d 1w 1mo 3mo 6mo 1y All

Температура	23.76	Вологість	44.87%	Статус	Добре
PM10	4	PM2.5	7	PM10	7
Індекс якості повітря	<div style="text-align: center;"> <span>0</span> <div style="width: 50%; height: 20px; background: linear-gradient(to right, #28a745, #ffc107); border-radius: 10px; margin: 0 auto;"></div> <span>50</span> </div>		Температура		
Вентиляція	Вимкнена	Керування вентиляцією	<div style="text-align: center;"> <span>0</span> <div style="width: 49%; height: 20px; background: linear-gradient(to right, #6c757d, #6c757d); border-radius: 10px; margin: 0 auto;"></div> <span>499</span> </div>		

**Апаратна реалізація**

**Програмна реалізація**

<b>КаРКІ 2301124 23.01.27 ES</b>	
Класифікаційне агентство "Процеси інженеринг" з інтеграційними послугами	Після / Меся / Місяць
Апаратна та програмна реалізація	Архів / Т / Архівів 3
ХНУ. ІР. КДС-23-1	

## ДОДАТОК Г (обов'язковий)

### Лістинг програмного коду

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID          manualMode = true;
"TMPL4ivaFvCq4"                  String modeText;
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "BME"   if (selectedVentilation == 0)
#define BLYNK_AUTH_TOKEN          modeText = "Вимкнена";
"UVvWSLaGv_304Xmtih20GZCjKGB0j2z3"   else if (selectedVentilation == 1)
                                        modeText = "Мінімальна";
                                        else if (selectedVentilation == 2)
                                        modeText = "Середня";
                                        else if (selectedVentilation == 3)
                                        modeText = "Максимальна";
                                        Blynk.virtualWrite(V15, modeText);
                                        Serial.println("==== MANUAL MODE
                                        =====");
                                        Serial.println(modeText);
                                        }
                                        }
                                        BLYNK_WRITE(V22)
                                        {
                                        if (param.asInt() == 1) {
                                        manualMode = false;
                                        Serial.println("==== AUTO MODE
                                        ENABLED =====");
                                        }
                                        }

int calculateAQI(float pm25Value) {
    if (pm25Value <= 12) return 50;
    if (pm25Value <= 35.4) return 100;
    if (pm25Value <= 55.4) return 150;
    if (pm25Value <= 150.4) return 200;
    if (pm25Value <= 250.4) return 300;
    if (pm25Value <= 350.4) return 400;

    return 500;
}

String airStatus(int aqi) {
    if (aqi <= 50) return "Добре";
    if (aqi <= 100) return "Помірне";
    if (aqi <= 150) return "Шкідливо";
    if (aqi <= 200) return "Небезпечно";
    if (aqi <= 300) return "Дуже
небезпечно";
    return "Критично";
}

String allergenRisk(float temp,
```

```

        float hum,
        uint16_t pm1,
        uint16_t pm25,
        uint16_t pm10,
        int aqi) {
    int score = 0;
    if (hum >= 60) score += 2;
    if (hum <= 30) score += 1;
    if (temp >= 24) score += 1;
    if (pm25 >= 25) score += 2;
    if (pm10 >= 30) score += 2;
    if (aqi >= 100) score += 2;
    if (score <= 2) return "Низька
ймовірність";
    if (score <= 5) return "Середня
ймовірність";
    if (score <= 8) return "Висока
ймовірність";

    return "ДУЖЕ ВИСОКА";
}

String detectAllergens(float hum,
                      uint16_t pm25,
                      uint16_t pm10) {
    String allergens = "";
    if (hum >= 60)
        allergens += "Пилові кліщі; ";
    if (pm25 >= 25 || pm10 >= 30)
        allergens += "Пил; ";
    if (hum >= 70)
        allergens += "Пліснява; ";
    if (allergens == "")
        allergens = "Немає значних
алергенів";
    return allergens;
}

String ventilationStatus(int aqi,
                        float temp,
                        float hum,
                        uint16_t pm25,
                        uint16_t pm10,
                        String risk) {

    int score = 0;
    if (aqi >= 50) score += 1;
    if (aqi >= 100) score += 2;
    if (aqi >= 150) score += 3;
    if (temp >= 24) score += 1;
    if (hum >= 60) score += 2;

    if (pm25 >= 25) score += 2;
    if (pm10 >= 35) score += 2;
    if (risk == "Висока ймовірність")
        score += 2;
    if (risk == "ДУЖЕ ВИСОКА") score +=
3;
    if (score <= 2) return "Вимкнена";
    if (score <= 5) return "Мінімальна";
    if (score <= 8) return "Середня";
    return "Максимальна";
}

void controlLED(float temp, int aqi) {
    if (temp > 24 || aqi >= 150) {
        if (millis() - lastBlink >= 500) {
            lastBlink = millis();
            ledState = !ledState;
            digitalWrite(LED_PIN, ledState);
        }
    } else {
        digitalWrite(LED_PIN, LOW);
    }
}

void sendData() {
    while (pmsSerial.available()) {
        if (pmsSerial.read() == 0x42) {
            if (pmsSerial.peek() == 0x4D) {
                pmsSerial.read();
                uint8_t data[30];
                if (pmsSerial.readBytes(data,
30) == 30) {
                    pm1 = (data[8] << 8) |
data[9];
                    pm25 = (data[10] << 8) |
data[11];
                    pm10 = (data[12] << 8) |
data[13];
                }
            }
        }
    }

    int aqi = calculateAQI(pm25);
    if (!bme.performReading()) {
        Serial.println("BME680 ERROR");
        return;
    }
    float temp = bme.temperature;
    float hum = bme.humidity;
    ds18b20.requestTemperatures();
}

```

```

float dsTemp =
ds18b20.getTempCByIndex(0);
String risk =
    allergenRisk(temp, hum, pm1, pm25,
pm10, aqi);

String allergens =
    detectAllergens(hum, pm25, pm10);
String vent =
    ventilationStatus(aqi,
                      temp,
                      hum,
                      pm25,
                      pm10,
                      risk);

currentTemp = temp;
currentAQI = aqi;
Serial.println("\n===== ДАНІ
=====");
Serial.print("Температура BME680: ");
Serial.print(temp);
Serial.println(" °C");
Serial.print("Температура DS18B20:
");
Serial.print(dsTemp);
Serial.println(" °C");
Serial.print("Вологість: ");
Serial.print(hum);
Serial.println(" %");
Serial.print("PM1.0: ");
Serial.print(pm1);
Serial.println(" ug/m3");
Serial.print("PM2.5: ");
Serial.print(pm25);
Serial.println(" ug/m3");
Serial.print("PM10: ");
Serial.print(pm10);
Serial.println(" ug/m3");
Serial.print("AQI: ");
Serial.println(aqi);
Serial.print("Стан повітря: ");
Serial.println(airStatus(aqi));
Serial.print("Вентиляція: ");
Serial.println(vent);
Serial.print("Ймовірність алергенів:
");
Serial.println(risk);
Serial.print("Можливі алергени: ");
Serial.println(allergens);

Serial.println("=====
=====");
if (!manualMode) {
    Blynk.virtualWrite(V15, vent);
}
Blynk.virtualWrite(V9, temp);
Blynk.virtualWrite(V10, hum);
Blynk.virtualWrite(V11, pm1);
Blynk.virtualWrite(V12, pm25);
Blynk.virtualWrite(V13, pm10);
Blynk.virtualWrite(V14, aqi);
Blynk.virtualWrite(V4,
airStatus(aqi));
Blynk.virtualWrite(V16, dsTemp);
Blynk.virtualWrite(V20, risk);
Blynk.virtualWrite(V21, allergens);
if (aqi >= 150 && !notificationSent)
{
    Blynk.logEvent("air_alert",
                  "Небезпечно
повітря!");
    notificationSent = true;
}
if (aqi < 100)
    notificationSent = false;
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
    Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN,
               ssid,
               pass);
    Wire.begin(BME_SDA, BME_SCL);
    if (!bme.begin(0x77)) {
        Serial.println("BME680 ERROR");
        while (1);
    }
    pmsSerial.begin(9600,
                   SERIAL_8N1,
                   PMS_RX_PIN,
                   PMS_TX_PIN);
    ds18b20.begin();
    timer.setInterval(15000L, sendData);
}

void loop() {
    Blynk.run();
    timer.run();
    controlLED(currentTemp,
               currentAQI);
}

```

**Протокол аналізу звіту подібності експертом**

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

**Автор:** Владислав ТАРТАКОВСЬКИЙ

**Співавтор:**

**Назва:** Кіберфізична система "Розумна вентиляція з відстеженням алергенів"

**Експерт:** Катерина БЕРЕЗЬКА

**Підрозділ:** Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

**Коефіцієнт подібності 1:** 12.28%

**Коефіцієнт подібності 2:** 7.9%

**Мікропробіли:** 2

**Заміна букв:** 0

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2026-05-30 09:08:51.0

**Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:**

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

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

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

**Обґрунтування:**

2026-05-30

*Дата*

Доцент Андрій Нічепорук

експерт

# Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 4.0%

Словники перевірки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Помилки в документах: 12%

ID: 272842 Назва: БКР Кіберфізична система "Розумна вентиляція з відстеженням алергенів" Додано в БД: 2026-05-30 Автора: Владислав ТАРТАКОВСЬКИЙ Керівники: Катерина БЕРЕЗЬКА Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	76881	745	5984 (8%)	62 (8%)

## Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

## РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Тартаковський Владислав Святославович

Тема: Кіберфізична система “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”

Спеціальність: 123 «Комп’ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 62

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є кіберфізична система “Розумна вентиляція з відстеженням алергенів”
2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.
3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області, розглянуто існуючі рішення, апаратні, програмні рішення для реалізації та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи здійснено аналіз вимог, вибір компонентів, визначено алгоритм роботи системи та вибір технологій для реалізації програмної частини. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратно-програмну реалізацію, а саме: побудовано схему на основі визначених давачів та ESP32; візуальна частина реалізована на C++ та відображається на платформі Blynk.
4. Позитивні сторони роботи: візуалізація у зручному для користувачів вигляді характеристик повітря на смартфоні, сайті та реалізовано push сповіщення у разі небезпечного повітря.
5. Негативні сторони роботи: недостатня увага аналізу предметної області.
6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.
7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному технічному рівні.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: добре (В/85).

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) \_\_\_\_\_

Доктор Володимир Миколайович  
доцент каф. Кібербезпеки

"02" 06 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КПС  
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Владислав ТАРТАКОВСЬКИЙ

---

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

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

1 травня 2026 року



## РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

### КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Кіберфізична система "Розумна вентиляція з відстеженням алергенів"  
 Автор Владислав ТАРТАКОВСЬКИЙ  
 Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування  
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)  
 Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія  
 Науковий керівник: к.т.н., доцент Катерина БЕРЕЗЬКА

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

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

#### Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 12,28%; та системою Anti-Plagiarism складає 4%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Гарант освітньої програми

  
Підпис

Андрій НІЧЕПОРУК  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи

  
Підпис

Катерина БЕРЕЗЬКА  
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

