

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT  
Назва теми

КВРКІ 022028.22.01.11 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»  
Назва

Виконав: студентка IV курсу, група КІ2с-22-1  Дар'я МУХА  
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник  Євген ФЕДОРОВ  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

Нормоконтролер  Тетяна КИСІЛЬ  
Підпис, дата Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

  
Підпис

Ольга ПАВЛОВА  
Ініціали, прізвище

«12» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Дар'ї МУСІ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

Керівник проекту (роботи) Євген ФЕДОРОВ, д.т.н., проф.

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування.

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

Аналіз систем моніторингу якості повітря

Проектування системи моніторингу якості повітря із застосуванням IoT

Реалізація та тестування системи моніторингу якості повітря

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

Структурна схема та алгоритм роботи системи моніторингу якості повітря на основі IoT

Архітектура системи моніторингу якості повітря на основі IoT

Програмна реалізація системи моніторингу якості повітря на основі IoT у вигляді мобільного застосунку

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КПС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проектування системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проектування система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент

Підпис

Дар'я МУХА

Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Євген ФЕДОРОВ

Ініціали, прізвище

№  
р  
я  
д  
к  
а

1

2

3

4

Зм Ар  
Розробив  
Перевір.

Н. контр.  
Зав.

№ р я д к а	Ф о р м а т	Позначення	Найменування	К і л · л и с т і в	№ ек з	П р и м і т к а
			<u>Текстові документи</u>			
1		КвРКІ 022028.22.01.11 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
		КвРКІ 022028.22.01.11 ПЗ	Лістинг програмного коду			
			<u>Графічні матеріали</u>			
2		КвРКІ 022028.22.01.11 Е8	Структурна схема та алгоритм роботи системи моніторингу якості повітря на основі IoT	1		
3		КвРКІ 022028.22.01.11 Е8	Архітектура системи моніторингу якості повітря на основі IoT	1		
4		КвРКІ 022028.22.01.11 Е8	Програмна реалізація IoT системи моніторингу якості повітря на основі у вигляді мобільного застосунку	1		
КвРКІ 022028.22.01.11 ВП						
Зм	Арж	№ докум	Підпис	Дата		
Розробив		Муха			Літера	Аркуш
Перевір.		Федоров			У	1
					Аркушів	
					1	
Н. контр.		Кисіль		12.06.24	ХНУ, КІ2с-22-1	
Затв.		Павлова		12.06.25		

## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT».

Автор роботи: Дар'я Муха.

Керівник роботи: Федоров Євген Євгенович.

Пояснювальна записка: 55 с., 18 рис., 6 табл., 3 дод., 53 джерела.

Графічна частина: 3 креслення.

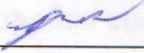
**IoT, КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА, ЯКІСТЬ ПОВІТРЯ, МОНІТОРИНГ.**

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.

Об'єктом дослідження є процес розробки системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.

Предметом дослідження є система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.

Під час проведення даного дослідження були використані методи аналізу, синтезу та моделювання процесів, а також принципи системного аналізу і теоретико-множинні підходи для обґрунтування архітектури та функціонування системи. Практичне значення має спроектована система моніторингу якості повітря, яка дозволяє в реальному часі відслідковувати та аналізувати показники стану повітря в приміщенні, що може бути корисним для покращення умов перебування людей у закритих просторах.

  
Підпис студента

30.05.2025

Дата

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	5
<b>1 АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ</b> .....	7
1.1 Огляд існуючих систем моніторингу якості повітря в Україні та світі .....	7
1.2 Аналіз апаратних та програмних платформ для автоматизованого моніторингу якості повітря.....	14
1.3 Порівняння підходів до збору, обробки та візуалізації даних щодо якості повітря .....	19
1.4 Постановка завдання для розробки системи моніторингу якості повітря у приміщенні із застосуванням IoT.....	21
1.4 Висновок .....	23
<b>2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ІОТ</b> .....	24
2.1 Вибір апаратного забезпечення для збору та передачі даних про якість повітря.....	24
2.2 Функційні вимоги до системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.....	26
2.3 Нефункційні вимоги до системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.....	29
2.4 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення та архітектури системи .....	31
2.5 Структурна схема та алгоритм роботи системи моніторингу якості повітря.....	38
2.6 Висновки .....	41
<b>3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ</b> .....	43
3.1 Розробка апаратної частини системи та її інтеграція з IoT.....	43

КвРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT	Літера	Арк. III	Арк. IV
Виконав	Дар'я МУХА					у		2
Перевір.	Євген ФЕДОРОВ							
Н.контр.	Тетяна КИСІЛЬ							
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА							
						ХНУ КІ2с-22-1		

3.2 Розробка програмного забезпечення для мобільного застосунку для моніторингу якості повітря.....	50
3.3 Висновки.....	55
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	57
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b> .....	59
<b>ДОДАТОК А</b> .....	65
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	66
<b>ДОДАТОК В</b> .....	67
<b>ДОДАТОК Г</b> .....	68

					КвРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк.
						3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

IoT (Internet of Things) - інтернет речей;

AQI (Air Quality Index) - індекс якості повітря;

ЛОС - леткі органічні сполуки;

H<sub>2</sub>S - гідроген сульфід, сірководень;

OTA (Over-The-Air) - метод оновлення програмного забезпечення або мікропрограм (firmware) пристроїв через бездротову мережу, таку як Wi-Fi або мобільна мережа;

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ВСТУП

У сучасному світі якість повітря є одним із ключових факторів, що впливають на здоров'я та самопочуття людини. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, щороку мільйони людей у всьому світі страждають від наслідків забрудненого повітря, як на вулиці, так і всередині приміщень. Попри широку увагу до моніторингу атмосферного повітря, проблема якості повітря у закритих просторах: житлових будинках, офісах, навчальних закладах тощо, часто залишається поза увагою. У той же час люди проводять у приміщеннях понад 80% свого часу, що робить цю проблему надзвичайно актуальною.

Інтенсивний розвиток технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT) відкриває нові можливості для побудови автоматизованих, доступних та інтелектуальних систем контролю параметрів навколишнього середовища. Завдяки компактним сенсорам, мікроконтролерам, бездротовому зв'язку та мобільним застосункам, стало можливим у реальному часі здійснювати вимірювання рівня вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), твердих часток (PM<sub>2.5</sub>), температури, вологості тощо, і негайно реагувати на погіршення мікроклімату.

Метою цієї дипломної роботи є розробка системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT-технологій, яка дозволить користувачам відслідковувати стан повітря в реальному часі за допомогою мобільного застосунку, отримувати сповіщення у разі перевищення допустимих норм та приймати рішення для покращення умов перебування. У межах роботи було проведено аналіз існуючих рішень, спроектовано архітектуру системи, обрано апаратні та програмні компоненти, реалізовано прототип та протестовано його функціональність.

Актуальність роботи зумовлена зростанням потреби у забезпеченні безпечного мікроклімату в закритих просторах, де люди проводять більшість свого часу. Погана якість повітря в приміщеннях негативно впливає на здоров'я, працездатність і самопочуття, але наразі на ринку відсутні доступні та зручні

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

засоби для її ефективного моніторингу. Водночас стрімкий розвиток технологій Інтернету речей відкриває нові можливості для створення недорогих, автоматизованих і мобільних систем збору та аналізу екологічних даних у реальному часі. Такі рішення сприяють підвищенню екологічної свідомості населення, впровадженню концепції «розумного дому» та забезпеченню контролю за станом внутрішнього середовища в побутових, офісних та освітніх умовах, що робить тему роботи сучасною, затребуваною та соціально значущою.

Поставлена мета досягається розв'язанням таких основних задач:

- 1) провести огляд існуючих рішень та систем для моніторингу якості повітря;
- 2) виконати вибір компонентів та середовища для реалізації задачі;
- 3) розробити апаратну та програмну реалізацію системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.

Об'єктом дослідження є процес розробки системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT. Предметом дослідження є система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці та апаратно-програмній реалізації системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

## 1.1 Огляд існуючих систем моніторингу якості повітря в Україні та світі

Моніторинг якості повітря є важливою складовою екологічної безпеки як на рівні держав, так і на індивідуальному рівні. Якість повітря безпосередньо впливає на здоров'я людини, зокрема на дихальну та серцево-судинну системи. Враховуючи глобальні проблеми забруднення атмосферного повітря, багато країн активно впроваджують системи моніторингу якості повітря, включаючи використання технологій Інтернету речей (IoT) для забезпечення безпеки в приміщеннях. Якість повітря є одним з найважливіших чинників, що впливають на здоров'я, самопочуття і працездатність людини. В умовах глобальної урбанізації, активного використання викопного палива, розвитку промисловості та зростання транспортного потоку, рівень забруднення повітря стрімко зростає. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), понад 90% населення світу проживає в регіонах, де якість повітря не відповідає встановленим нормам. Враховуючи цю тенденцію, створення ефективних систем моніторингу стану атмосферного повітря, зокрема у внутрішніх приміщеннях, є нагальним завданням для сучасних міст та країн.

Сучасні системи моніторингу базуються на застосуванні технологій Інтернету речей (IoT), що забезпечують оперативне збирання, обробку та передачу екологічної інформації з численних точок у просторі. Це дозволяє здійснювати детальний аналіз динаміки забруднення повітря, своєчасно виявляти перевищення допустимих концентрацій шкідливих речовин і формувати рекомендації або автоматизовані дії для зниження впливу на людей та навколишнє середовище.

Особливої актуальності моніторинг якості повітря набув у період після пандемії COVID-19, яка чітко окреслила важливість контролю вентиляції, рівня CO<sub>2</sub> та загального стану мікроклімату в навчальних, адміністративних та житлових приміщеннях. Низка наукових досліджень довела прямий зв'язок між концентрацією вуглекислого газу та зниженням когнітивної активності, що стало

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 7
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

поштовхом до широкого впровадження сенсорних мереж у школах, офісах та виробничих середовищах [13, 15]. На міжнародному рівні активно розвиваються як державні, так і приватні системи контролю якості повітря. Наприклад, у країнах Європейського Союзу функціонують централізовані мережі вимірювальних станцій, які забезпечують дані для екологічного моніторингу, формування політик та інформування громадськості. Ці системи використовують дорогі високоточні датчики та лабораторне обладнання, здатне точно вимірювати навіть незначні концентрації шкідливих речовин. Однак через високу вартість такі станції зазвичай розміщуються обмежено – лише в ключових точках населених пунктів або поблизу промислових зон.

У відповідь на потребу в масовому та локальному моніторингу почали з'являтися альтернативні IoT-рішення, які, хоч і поступаються за точністю, мають переваги в ціні, простоті встановлення та масштабованості. Наприклад, у Сінгапурі, Південній Кореї, США та Німеччині створені мережі розумних датчиків, які через бездротові канали зв'язку передають дані в реальному часі до центральних серверів. Ці дані інтегруються з метеоінформацією, що дозволяє враховувати вплив погодних умов на поширення забруднень.

У країнах зі складною екологічною ситуацією, зокрема в Індії та Китаї, реалізуються програми масового моніторингу [11] із залученням громадськості. Розроблені мобільні додатки дозволяють будь-якому користувачу переглядати поточний стан повітря в своєму районі, що стимулює екологічну свідомість населення. Більше того, великі міста реалізують систему «розумного управління середовищем», коли на основі показників сенсорів автоматично регулюється трафік, робота промислових об'єктів, вентиляційні системи у транспорті та громадських будівлях [12].

Якість повітря в закритих приміщеннях є критично важливою, оскільки люди проводять у них до 90% свого часу. Недостатня вентиляція, присутність великої кількості людей, використання побутової хімії, меблів із синтетичних матеріалів –

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

все це сприяє накопиченню забруднень. Тому у всьому світі зростає популярність рішень, спрямованих саме на контроль повітря у приміщеннях.

Розробляються багатокімнатні системи, які встановлюються у школах, офісах, лікарнях та житлових будинках. Вони збирають інформацію про рівень CO<sub>2</sub>, вологість, температуру, рівень пилу (PM2.5), леткі органічні речовини. У поєднанні з системами керування мікрокліматом такі IoT-рішення дозволяють:

- автоматично вмикати вентиляцію або відкривати вікна;
- керувати режимом роботи систем кондиціонування або обігріву;
- надсилати попередження користувачам про погіршення повітря;
- формувати історичні звіти та графіки для подальшого аналізу [10, 15].

Особливістю сучасних систем є можливість адаптації до режиму використання приміщень: виявлення присутності людей, зміна графіків вентиляції в залежності від часу доби або кількості людей. У новітніх моделях впроваджується машинне навчання, яке дозволяє прогнозувати стан повітря і адаптивно змінювати параметри систем клімат-контролю.

В Україні реалізується низка проєктів зі створення як централізованих, так і локальних систем моніторингу якості повітря. У великих містах почали з'являтися муніципальні портали, які відображають дані зі стаціонарних станцій, зокрема в Києві, Львові, Дніпрі та Харкові. Однак такі системи охоплюють обмежені зони, і тому значна частина ініціатив реалізується у форматі локальних IoT-рішень.

Університетські розробки займають важливе місце у впровадженні моніторингових систем. В багатьох технічних вишах створюються кваліфікаційні роботи, спрямовані на побудову прототипів із використанням Arduino або ESP32, різних сенсорів та модулів зв'язку. Такі розробки реалізуються для конкретних цілей: контроль повітря в навчальних аудиторіях, в житлових приміщеннях або на виробництві [1–7].

Типові рішення передбачають створення вузлів збору даних, які можуть працювати автономно, використовують акумулятори або живлення від мережі, передають інформацію через Wi-Fi або GSM на сервер або у хмару. У ряді робіт

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розглядається застосування протоколу LoRaWAN для побудови мережі з великим радіусом дії, що особливо актуально для підприємств або сільських територій [6].

Візуалізація даних у таких проєктах зазвичай реалізується через вебінтерфейс, мобільні додатки або панелі типу Grafana, Node-RED. У складніших випадках впроваджуються алгоритми обробки даних, моделі прогнозування, сценарії автоматичної реакції (наприклад, автоматичне увімкнення вентиляції при перевищенні рівня CO<sub>2</sub>).

Також було проведено огляд відомих систем моніторингу якості повітря в режимі реального часу [52]

AirVisual [39] – це інноваційна платформа моніторингу якості повітря, яка надає в реальному часі широкий спектр послуг для вимірювання, аналізу та спостереження за забрудненням повітря, зокрема, інформацію про якість повітря в різних регіонах світу, включаючи рівні забруднювачів та індекс якості повітря, прогнози та поради для здоров'я. Пропонує сенсори для внутрішнього та зовнішнього використання, які надають дані про якість повітря в реальному часі. Система доступна через мобільні додатки та веб-сайт. Платформа також надає прогнози якості повітря на майбутні дні, що дозволяє людям планувати свої дії та вибирати стратегії для захисту від забруднення повітря. AirVisual надає користувачам поради та рекомендації щодо захисту від забруднення повітря та збереження здоров'я, що допомагає зменшити негативний вплив забруднення повітря на організм. Таким чином, система AirVisual є потужним інструментом для моніторингу якості повітря та сприяє підвищенню обізнаності громадськості про проблеми забруднення повітря, а також допомагає людям приймати обґрунтовані рішення для захисту свого здоров'я. Вартість такого монітору якості повітря складає порядку 400 доларів США.

PurpleAir [40-42] – це глобальна мережа моніторингу якості повітря, реалізована як мережа сенсорів, розташованих у різних частинах світу, яка надає дані про рівні забруднювачів у повітрі в реальному часі. Ці дані можуть бути доступні через інтерактивну мапу на їхньому веб-сайті та в мобільному додатку.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

PurpleAir використовує два сенсори на кожному пристрої для вимірювання рівнів різних забруднювачів повітря, таких як PM2.5 та PM10, що дозволяє забезпечити більш точні дані про якість повітря. PurpleAir також зберігає історичні дані, що дозволяє користувачам відстежувати зміни в рівнях забруднення повітря протягом певного часу. PurpleAir надає користувачам можливість візуалізувати дані про якість повітря на мапі, де кожен сенсор позначений своїм місцем розташування. Така мережа надає API для розробників, що дозволяє створювати додатки та сервіси, що використовують дані про якість повітря для різних цілей, включаючи розробку мобільних додатків та інтерактивних веб-сайтів. Отже, система PurpleAir є важливим інструментом для моніторингу якості повітря, який допомагає громадянам та владі приймати обґрунтовані рішення для збереження здоров'я та зменшення негативного впливу забруднення повітря на навколишнє середовище. Вартість такого монітору якості повітря складає порядку 300 доларів США.

IQAir AirVisual Pro [43, 44] – пристрій, який надає інформацію про рівні забруднювачів у повітрі в реальному часі, включаючи частки PM2.5, PM10, оксид азоту та інші. Інформація відображається на дисплеї пристрою, а також може бути синхронізована з мобільним додатком. Платформа може надсилати користувачам сповіщення про небезпечні рівні забруднень повітря, а також надавати поради щодо заходів для зменшення впливу цих забруднень на здоров'я. IQAir AirVisual Pro надає можливість візуалізувати дані про якість повітря на мапі, що дозволяє користувачам швидко оцінити рівень забруднення повітря у різних районах та виконати аналіз стану ситуації в різних регіонах. Отже, IQAir AirVisual Pro – це важливий інструмент для моніторингу та контролю якості повітря, який допомагає громадянам, медичним установам та владі приймати обґрунтовані рішення для покращення якості повітря та захисту здоров'я громадян. Вартість такого монітору якості повітря складає порядку 400 доларів США.

Aeroqual Cloud [45, 46] – система моніторингу, яка надає дані про якість повітря, включаючи рівні оксидів азоту, озону, часток PM2.5, PM10, NO2, SO2, O3 та інших забруднювачів в реальному часі, що дозволяє отримувати повну картину

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 11
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

про якість повітря в конкретному регіоні. Дані можна переглянути через веб-портал або мобільний додаток. Платформа може автоматично надсилати сповіщення користувачам про виявлення небезпечних рівнів забруднень, а також надає можливість проводити аналіз даних та створювати звіти для подальшого використання. Aeroqual Cloud може бути інтегрована з іншими системами моніторингу або міськими інфраструктурами для створення комплексних рішень для контролю якості повітря та охорони здоров'я. Отже, система Aeroqual Cloud є важливим інструментом для моніторингу та управління якістю повітря, яка допомагає містам, компаніям та громадянам забезпечити безпечне та здорове довкілля.

Foobot [47] – це домашній монітор якості повітря, який надає дані про рівні забруднювачів, такі як частки PM2.5, VOCs, CO2 та інші в реальному часі. Дані можна переглядати через мобільний додаток або веб-портал. Foobot автоматично надсилає сповіщення користувачам про виявлення небезпечних рівнів забруднень і надає поради щодо того, як покращити якість повітря. Foobot має зручний інтерфейс користувача, який дозволяє відслідковувати тенденції якості повітря та приймати необхідні заходи для поліпшення довкілля. Вартість такого монітору якості повітря складає порядку 1600 доларів США.

EPA AirNow [48] – це система моніторингу якості повітря, розроблена Агентством з охорони навколишнього середовища США (EPA). Вона надає інформацію про рівні забруднювачів у повітрі, такі як частки PM2.5, PM10, озон, оксид азоту та інші, для різних місць у Сполучених Штатах через веб-сайт і мобільний додаток. AirNow пропонує інтерактивну карту, на якій користувачі можуть відслідковувати рівень забруднення повітря у своєму районі, використовуючи кольорову шкалу індексу якості повітря. Користувачі можуть підписатися на сповіщення про рівень забруднення повітря та отримувати поради щодо заходів безпеки та захисту здоров'я в разі високих рівнів забруднення. AirNow надає користувачам доступ до різноманітних інформаційних ресурсів про вплив

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забруднення повітря на здоров'я та рекомендації щодо зменшення впливу забруднення на навколишнє середовище та здоров'я.

Breezometer [49, 50] – це платформа моніторингу якості повітря, яка надає дані про забруднення повітря на основі геолокації користувача. Вона оцінює рівні різних забруднювачів та надає корисні поради для збереження здоров'я. Breezometer використовує розширені алгоритми та моделі для аналізу даних з різних джерел, включаючи мережі сенсорів, метеорологічні станції та інші джерела, щоб забезпечити користувачам найточнішу інформацію про якість повітря. Система надає дані про рівень різних забруднювачів повітря, включаючи PM2.5, PM10, NO2, SO2, CO та O3, а також інші параметри, такі як температура, вологість та тиск. Breezometer має інтерактивну карту, на якій користувачі можуть переглядати рівень забруднення повітря у своєму районі в реальному часі та отримувати оновлення через мобільний додаток або веб-сайт. Користувачі можуть підписатися на сповіщення про зміни в рівні забруднення повітря та отримувати поради щодо заходів безпеки та захисту здоров'я відповідно до поточної ситуації. Breezometer надає користувачам можливість глибокого аналізу даних, включаючи звіти про тривалість, інтенсивність та вплив забруднення повітря на здоров'я.

Atmotube [51] – це переносний сенсор якості повітря, який можна прикріпити до сумки або ключів. Він надає інформацію про рівні різних забруднювачів у повітрі, таких як PM2.5, VOCs, CO2 та інших, а також про температуру та вологість через мобільний додаток. Atmotube надсилає користувачам сповіщення про зміни в якості повітря та надає поради щодо заходів безпеки та захисту здоров'я. Atmotube також має функцію спільноти, де користувачі можуть обмінюватися інформацією про якість повітря та досвідом використання пристрою. Вартість такого монітору якості повітря складає порядку 200 доларів США.

Проведений огляд свідчить про стрімкий розвиток як глобальних, так і локальних систем моніторингу якості повітря. У світі формується чітка тенденція до переходу від точкових вимірювань до комплексних, інтегрованих IoT-систем, які в реальному часі здійснюють контроль параметрів повітря та керують

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 13
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

інженерними системами. Україна активно долучається до цього процесу, особливо в освітньому та дослідницькому середовищі. На цьому тлі важливим стає завдання розробки власного рішення, що відповідало б сучасним вимогам, було технічно простим, енергоефективним, зручним для користувача та орієнтованим на конкретні умови експлуатації – наприклад, для моніторингу мікроклімату в навчальному або житловому приміщенні.

## 1.2 Аналіз апаратних та програмних платформ для автоматизованого моніторингу якості повітря

Ефективне функціонування систем моніторингу якості повітря неможливе без ретельно підібраної апаратної та програмної складової. Вибір платформ, сенсорів, контролерів, засобів передачі даних, систем зберігання та візуалізації безпосередньо впливає на точність, стабільність, масштабованість та вартість системи. Зважаючи на різноманіття доступних технологій, доцільно провести детальний аналіз найбільш поширених та перспективних рішень для побудови автоматизованих IoT-систем моніторингу якості повітря. У якості обчислювальних платформ для локальної обробки даних та управління сенсорами широко застосовуються мікроконтролери Arduino, ESP32, Raspberry Pi та STM32:

– ESP32 є найбільш популярним рішенням завдяки своїй низькій вартості, підтримці Wi-Fi та Bluetooth, високій продуктивності та енергоефективності [3]. Це дозволяє розгорнути бездротові вузли збору даних із мінімальними витратами. Крім того, ESP32 підтримує велику кількість бібліотек та має активну спільноту розробників, що спрощує інтеграцію сенсорів та зв'язок із хмарними платформами [6].

– Arduino UNO, Nano часто застосовується у навчальних або експериментальних проєктах завдяки простоті розробки. Проте відсутність вбудованих модулів бездротового зв'язку, обмежена продуктивність та обсяг пам'яті роблять їх менш придатними для складних систем.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 14
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

– Raspberry Pi є мікрокомп'ютером з можливістю розгортання повноцінного серверного або обчислювального середовища. В системах моніторингу часто використовується як центральний вузол для агрегації та обробки даних з декількох сенсорів або вузлів.

– STM32 застосовується у проєктах, де важливі точність та швидкодія, особливо в реальному часі. Вимагає глибших знань у розробці прошивок, але забезпечує високу надійність.

Для вимірювання параметрів повітря в IoT-системах застосовують велику кількість сенсорів різного призначення. Найбільш поширеними є пристрої для контролю вмісту вуглекислого газу, температури, вологості, атмосферного тиску, а також концентрації твердих частинок і летких органічних сполук.

MH-Z19 та Senseair S8 – це сенсори для вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>). Вони забезпечують достатню точність (похибка становить близько 30 ppm), не потребують складного калібрування та працюють на основі інфрачервоної технології NDIR, що дозволяє уникати помилок, характерних для сенсорів з хімічним принципом дії. BME280 та DHT22 – багатофункціональні сенсори, які вимірюють температуру, вологість повітря, а також атмосферний тиск (у випадку з BME280).

Сенсор BME280 вирізняється підвищеною точністю, стабільністю та швидкістю реакції у вимірюванні температури, вологості та атмосферного тиску порівняно з популярним сенсором DHT22. На відміну від DHT22, BME280 підтримує як інтерфейс I2C, так і SPI, що забезпечує гнучкість інтеграції в різні апаратні рішення. Крім того, він має менші габарити та споживає менше енергії, що робить його зручним для використання у портативних пристроях. Значною перевагою BME280 є також широка підтримка бібліотек у популярних середовищах розробки, таких як Arduino IDE, PlatformIO, Raspberry Pi (Python), що суттєво полегшує його інтеграцію та налаштування. Датчик якості повітря 5 в 1 вуглекислого газу CO<sub>2</sub> аналізатор якості повітря для життя зображено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Датчик якості повітря 5 в 1 вуглекислого газу CO<sub>2</sub> аналізатор якості повітря для життя

CCS811 та MQ-135 – сенсори, призначені для виявлення летких органічних сполук (TVOC), аміаку, оксидів азоту, спиртів та інших газів. Хоча їх точність є нижчою, ніж у спеціалізованих датчиків, вони дозволяють визначити загальний рівень забрудненості повітря в приміщенні, що особливо корисно для виявлення джерел неприємного запаху або побутового забруднення. Наявні розробки в Україні свідчать про активне використання саме сенсорів CO<sub>2</sub> (зокрема MH-Z19), сенсорів твердих частинок (PMS5003), а також мультидатчиків, таких як BME280, які поєднують у собі декілька важливих фізичних параметрів.

Передача даних із сенсорних вузлів до централізованого сховища або обчислювального сервера в системах моніторингу якості повітря може здійснюватися за допомогою різних бездротових технологій. Вибір модуля зв'язку залежить від середовища експлуатації, необхідної дальності передачі, енергоспоживання та умов підключення до мережі.

Wi-Fi є найбільш поширеним рішенням у приміщеннях із постійним доступом до мережі Інтернет. Його головна перевага – висока швидкість передачі

даних. Однак недоліком є відносно високе енергоспоживання, що може бути критичним у автономних системах на батарейному живленні.

LoRaWAN ця технологія, що забезпечує надалеку передачу даних з мінімальним споживанням енергії. Завдяки цьому вона ідеально підходить для застосування в зовнішніх сенсорних мережах, особливо у сільських або важкодоступних регіонах, де немає можливості використовувати традиційні мережі.

GSM/4G актуальні у випадках, коли немає підключення до локальної мережі або Wi-Fi. Такі модулі забезпечують мобільний доступ до Інтернету, проте відрізняються високим енергоспоживанням і потребують врахування вартості передачі даних у тарифних планах.

Bluetooth та ZigBee – менш популярні у масштабних системах через обмежену дальність передачі, однак можуть застосовуватись у замкнених або невеликих просторових системах, де вузли розміщені на невеликій відстані.

На етапі збирання даних програмне забезпечення відіграє ключову роль у забезпеченні надійності, стабільності та ефективності роботи всієї IoT-системи моніторингу якості повітря. Одним із головних завдань є організація стійкого зв'язку між сенсорними вузлами та сервером обробки даних. Програмне забезпечення має забезпечувати буферизацію даних у разі втрати зв'язку, щоб уникнути їх втрати, а також реалізовувати попередню фільтрацію або усереднення значень для зменшення впливу шумів та випадкових коливань. Для розробки прошивок мікроконтролерів, таких як ESP32 або плати на базі Arduino, часто використовуються середовища Arduino IDE та PlatformIO. Вони дозволяють створювати ефективний код на C/C++ із широкою підтримкою бібліотек для роботи з різними сенсорами. У випадках, коли необхідна швидка розробка або мінімізація обсягу коду, доцільно використовувати MicroPython – інтерпретовану мову програмування, що забезпечує простоту та швидкість налагодження. Для більш гнучкого та візуально орієнтованого підходу до побудови логіки IoT-процесів,

зокрема на базі Raspberry Pi, широко застосовується Node-RED – платформа з графічним інтерфейсом налаштування потоків обробки.

Зібрані з сенсорів значення необхідно зберігати у зручному для подальшої обробки вигляді. Найбільш популярним рішенням для зберігання часових рядів у системах моніторингу якості повітря є InfluxDB – спеціалізована база даних, оптимізована під високу частоту записів і швидкий доступ до історичних даних. Її функціональність дозволяє ефективно агрегувати, зберігати та аналізувати сенсорні дані в реальному часі. Альтернативою є класичні реляційні системи управління базами даних, такі як MySQL або PostgreSQL. Вони зручні у випадках, коли дані мають складні зв'язки або потрібна інтеграція з вебінтерфейсами, наприклад, через API [5]. У хмарних рішеннях часто застосовується Firebase – платформа від Google, яка забезпечує обмін даними в реальному часі та масштабованість для багатокористувацьких застосунків. Особливе місце займають MQTT-брокери (наприклад, Mosquitto), які використовуються не стільки для зберігання, скільки для організації зв'язку між пристроями. MQTT є легким протоколом публікації/підписки, що дозволяє ефективно передавати дані в умовах нестабільного або обмеженого інтернет-з'єднання.

Для мобільних застосунків популярним рішенням є Blynk – платформа, яка дозволяє створювати власні інтерфейси з підтримкою виводу даних у режимі реального часу, кнопками керування, сповіщеннями та логікою автоматизації. Це рішення зручне для простих або прототипних систем [4].

Іншим поширеним інструментом є ThingSpeak – хмарна платформа для збору, аналізу та візуалізації даних. Вона має зручний інтерфейс та підтримку MATLAB для обробки сигналів, а також легко інтегрується з Arduino-платами. Водночас, для розробників із відповідними навичками можливо створювати власні веб-додатки з використанням HTML, CSS та JavaScript. Такий підхід забезпечує максимальну гнучкість і дозволяє адаптувати інтерфейс до будь-яких потреб користувачів.

У практиці українських розробників спостерігається тенденція використовувати комбінації інструментів залежно від вимог проєкту. Наприклад, часто зустрічаються поєднання MQTT + InfluxDB + Grafana – у системах з великою кількістю сенсорів, або Blynk + Firebase – у більш компактних або мобільно-орієнтованих рішеннях [6].

Аналіз апаратних та програмних засобів для систем моніторингу якості повітря показав, що сучасні технології дають змогу створювати доступні, ефективні та гнучкі рішення для різноманітних середовищ. Комбінація недорогих сенсорів, потужних мікроконтролерів, хмарних платформ і систем візуалізації дозволяє створювати автономні та масштабовані рішення для контролю мікроклімату. На основі аналізу існуючих рішень можна сформулювати вимоги до розробки власної системи, орієнтованої на контроль якості повітря у конкретному приміщенні, з урахуванням особливостей його використання, наявності підключення до мережі та потреб у візуалізації або автоматичному реагуванні.

### 1.3 Порівняння підходів до збору, обробки та візуалізації даних щодо якості повітря

Системи моніторингу якості повітря, побудовані на технологіях Інтернету речей (IoT), можуть суттєво відрізнитися залежно від цілей застосування, технічних обмежень, вимог до точності, режимів передачі даних та доступного бюджету. У цьому підрозділі розглянемо порівняння підходів до збору, обробки та візуалізації даних у таких системах, базуючись як на міжнародному досвіді, так і на українських реалізаціях.

На етапі збору даних ключовими характеристиками є тип сенсорів, частота вимірювань, методи фільтрації шуму та способи забезпечення достовірності інформації. У більшості сучасних IoT-систем для внутрішнього моніторингу застосовуються сенсори CO<sub>2</sub> (MH-Z19, Senseair S8), летких органічних сполук (MQ-135, CCS811) [2], твердих частинок (PMS5003, SDS011), температури й

вологості (BME280, DHT22). Ці сенсори забезпечують прийнятну точність у побутових і комерційних умовах. При цьому інфрачервоні сенсори CO<sub>2</sub> мають високу стабільність і не потребують частого калібрування [5].

Частота збору даних варіюється: у системах реального часу інтервали можуть становити 5–10 секунд, тоді як у довготривалих дослідженнях дані фіксуються щохвилини або навіть рідше для зменшення обсягу переданої інформації та економії енергії [7]. Деякі реалізації також використовують локальну буферизацію на мікроконтролері або SD-карті на випадок втрати зв'язку з сервером.

Обробка даних може виконуватись як на пристрої (edge computing), так і на сервері (cloud computing). У системах з обмеженими ресурсами мікроконтролера зазвичай застосовують попереднє усереднення або фільтрацію за допомогою простих алгоритмів типу ковзного середнього [6]. Це дозволяє знизити коливання та уникнути випадкових сплесків.

Більш просунуті системи, які використовують серверну обробку, можуть виконувати класифікацію, прогнозування або виявлення аномалій. Наприклад, за допомогою штучного інтелекту чи методів машинного навчання здійснюється аналіз трендів у зміні концентрації CO<sub>2</sub> або твердих частинок, що дає змогу прогнозувати небезпечні ситуації ще до їх настання [10].

Особливу увагу також приділяють синхронізації часових міток – для цього вузли часто використовують протокол NTP або автоматичне отримання часу з інтернету [12]. Це забезпечує коректне зіставлення даних, отриманих з різних сенсорів.

Представлення результатів вимірювань у зручній та зрозумілій формі є вирішальним фактором у практичному застосуванні систем моніторингу. У найпростіших випадках, зокрема в студентських проєктах або прототипах, використовуються мобільні додатки (наприклад, Blynk), де графіки, індикатори та гістограми можна створювати без написання коду [5]. Для більш складних систем, особливо з великою кількістю вузлів або у виробничому середовищі, застосовують Grafana у поєднанні з InfluxDB. Це дозволяє створювати багатофункціональні

дашборди з історією змін, середніми значеннями, граничними зонами (наприклад, відображення червоним кольором перевищень по PM2.5) та геоприв'язкою. У промислових реалізаціях зустрічається також виведення даних на SCADA-системи або інтеграція з ERP-рішеннями. У деяких проєктах застосовується веб-інтерфейс власної розробки на HTML/JavaScript, що дозволяє гнучко налаштовувати вигляд та логіку роботи (наприклад, фільтри по часу, зональні карти забруднення, збереження обраних ділянок).

Порівнюючи підходи, можна виділити кілька типових моделей:

– Бюджетні рішення (на базі DHT22, MQ-135, Blynk) - прості у реалізації, проте мають низьку точність і обмежену гнучкість. Підходять для навчання або побутового використання.

– Оптимізовані системи середнього рівня (ESP32, MH-Z19, InfluxDB, Grafana) - забезпечують гарну точність, гнучкість в обробці та налаштуваннях, але потребують більше часу на розгортання.

– Індустріальні рішення (LoRaWAN, високоточні сенсори, SCADA) - складні в реалізації, але забезпечують високу надійність, масштабованість та довготривалу експлуатацію.

У цілому, вибір підходу до збору, обробки та візуалізації залежить від таких факторів, як умови експлуатації, обсяг даних, доступна енергетика, тип з'єднання та потреби користувача. Українські дослідження показують активне впровадження саме середнього рівня складності, де поєднуються помірні витрати з досить високою якістю даних [4-6].

#### 1.4 Постановка завдання для розробки системи моніторингу якості повітря у приміщенні із застосуванням IoT

Аналіз сучасних IoT-систем моніторингу якості повітря, проведений у попередніх підрозділах, свідчить про високу варіативність технічних рішень і наявність доступних сенсорів, платформ та засобів візуалізації. Водночас,

ефективна система повинна відповідати специфічним вимогам конкретного середовища, зокрема умовам роботи у приміщенні, де головною метою є забезпечення безпеки та комфорту людей шляхом контролю основних параметрів повітря.

Метою даної роботи є створення прототипу IoT-системи моніторингу якості повітря у приміщенні, яка здатна фіксувати ключові показники повітряного середовища, обробляти та передавати зібрані дані, зберігати їх у базі даних, а також виводити результати у зручному для користувача форматі в режимі реального часу.

Система повинна забезпечувати збір даних з фізичних сенсорів, які вимірюють температуру, вологість, атмосферний тиск, концентрацію вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), твердих частинок (PM2.5, PM10), а також летких органічних сполук (TVOC). Дані мають попередньо оброблятися на мікроконтролері (усереднення, фільтрація), після чого передаватися бездротовим способом на сервер. У процесі розробки мають бути реалізовані функції збереження даних у структурованому форматі з підтримкою часових рядів, а також побудова системи візуалізації у вигляді графіків, індикаторів чи панелей. Передбачається можливість масштабування, тобто підключення додаткових сенсорних вузлів без зміни архітектури серверної частини. Крім функціональних, система повинна відповідати і нефункціональним вимогам: бути енергоефективною, забезпечувати стабільний зв'язок, мати механізм локального збереження даних у разі втрати інтернету, підтримувати масштабування та забезпечувати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для кінцевого користувача.

Для реалізації запропонованої системи доцільно використати мікроконтролер ESP32 як центральний обчислювальний вузол, оскільки він має вбудовану підтримку Wi-Fi, Bluetooth та високу продуктивність при низькому енергоспоживанні. До нього підключаються такі сенсори: MH-Z19 (CO<sub>2</sub>), BME280 (температура, вологість, тиск), PMS5003 (PM2.5/PM10), CCS811 (TVOC). Вибір обґрунтований поєднанням точності, доступності та сумісності з обраним мікроконтролером.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 22
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Для передавання даних буде використано Wi-Fi-зв'язок, що є зручним у приміщеннях з постійним доступом до мережі. Серверна частина включатиме MQTT-брокер (Mosquitto) для обміну повідомленнями між пристроями, InfluxDB для збереження даних у вигляді часових рядів, а також Grafana – для побудови графічного інтерфейсу з візуалізацією параметрів у режимі реального часу. У результаті має бути створено повноцінний прототип системи, який складається з сенсорного вузла, серверної частини та клієнтського інтерфейсу. Система повинна бути здатною до подальшого розширення та інтеграції з іншими технологіями, зокрема системами автоматичного керування вентиляцією або сповіщенням про перевищення допустимих рівнів забруднення.

#### 1.4 Висновок

У розділі було проведено детальний аналіз існуючих систем моніторингу якості повітря як в Україні, так і за кордоном. Розглянуто основні апаратні та програмні компоненти, що використовуються у сучасних IoT-рішеннях, включаючи сенсори, мікроконтролери, модулі зв'язку, системи зберігання та візуалізації даних. Особливу увагу приділено принципам роботи сенсорів для вимірювання температури, вологості, атмосферного тиску та концентрації зважених частинок, а також їх точності, енергоспоживанню та сумісності з мікроконтролерами. Було здійснено порівняння підходів до збору, обробки та подання інформації, що дозволило визначити найбільш ефективні технічні рішення для умов внутрішніх приміщень. Проаналізовано переваги та недоліки централізованих і децентралізованих систем, а також можливості інтеграції з хмарними сервісами для зберігання та обробки даних. На основі проведеного аналізу сформульовано вимоги та технічне завдання до розробки власної системи моніторингу якості повітря з використанням IoT-технологій, яка забезпечить надійний контроль параметрів середовища, масштабованість, енергоефективність та зручність користування для кінцевого користувача.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ІоТ

### 2.1 Вибір апаратного забезпечення для збору та передачі даних про якість повітря

У сучасних умовах забезпечення належної якості повітря в приміщеннях є надзвичайно важливим завданням, особливо з огляду на вплив забрудненого повітря на здоров'я людей. Розробка систем моніторингу якості повітря з використанням технологій Інтернету речей (ІоТ) дозволяє здійснювати безперервний контроль параметрів повітряного середовища, своєчасно виявляти відхилення та вживати відповідних заходів. Одним із ключових етапів у створенні таких систем є вибір відповідних апаратних складових, які забезпечують точний збір, обробку та передачу даних про якість повітря. Для ефективного контролю якості повітря в приміщеннях необхідно здійснювати моніторинг таких параметрів, як температура, вологість, концентрація вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), леткі органічні сполуки (VOC), дрібнодисперсні частинки (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) та інші шкідливі гази. Вибір сенсорів залежить від параметрів, які необхідно контролювати, а також від вимог до точності, швидкості реагування, енергоспоживання та вартості.

Серед сенсорів для вимірювання температури та вологості часто використовуються DHT22 та BME280, які забезпечують точні вимірювання та прості у використанні. Для вимірювання концентрації CO<sub>2</sub> популярними є сенсори MH-Z19B та Senseair S8, які забезпечують високу точність та широко використовуються в ІоТ-проєктах. Для виявлення летких органічних сполук (VOC) застосовуються сенсори SGP30 та CCS811, здатні виявляти широкий спектр VOC та рівень CO<sub>2</sub>. Для вимірювання концентрації дрібнодисперсних частинок (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>) використовуються лазерні сенсори SDS011 та PMS5003, які забезпечують високу точність. Для виявлення інших шкідливих газів, таких як аміак, сірководень, бензол, дим та інші, застосовуються сенсори MQ-135 та MiCS-6814. Мікроконтролер є центральним елементом ІоТ-системи, який забезпечує обробку

					КвРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 24
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

даних з сенсорів та їх передачу до хмарних сервісів або локальних серверів. При виборі мікроконтролера слід враховувати обчислювальну потужність, наявність вбудованих модулів зв'язку, енергоспоживання та підтримку необхідних інтерфейсів. Популярними мікроконтролерами для систем моніторингу якості повітря є ESP8266, який має вбудований Wi-Fi модуль та достатню обчислювальну потужність для базових задач, а також ESP32, який є більш потужним, має два ядра, підтримує Wi-Fi та Bluetooth, підходить для складніших задач. Приклад мікроконтролера ESP32 зображено на рисунку 2.1.

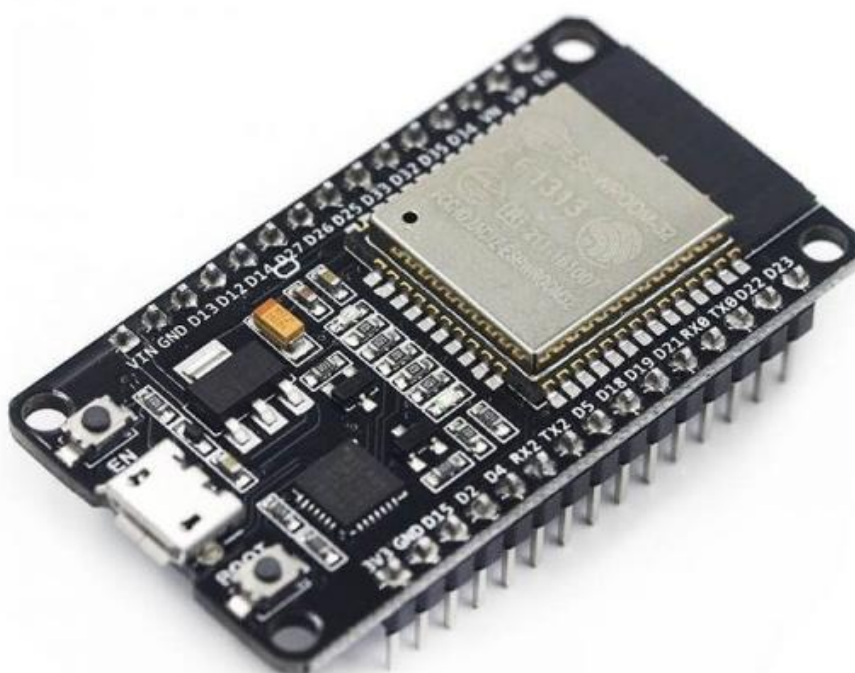


Рисунок 2.1 – Мікроконтролер ESP32 [29]

Для передачі даних з мікроконтролера до хмарних сервісів або локальних серверів використовуються різні модулі зв'язку. Вибір модуля залежить від вимог до дальності передачі, енергоспоживання та наявної інфраструктури. Wi-Fi забезпечує високу швидкість передачі даних та підходить для приміщень з наявною Wi-Fi мережею. LoRa забезпечує передачу даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням, підходить для розподілених систем моніторингу. Bluetooth підходить для передачі даних на короткі відстані, може використовуватись для

налаштування пристроїв або передачі даних на смартфон. GSM/3G/4G забезпечує передачу даних через мобільні мережі, підходить для віддалених об'єктів без доступу до Wi-Fi.

Залежно від умов експлуатації, система моніторингу якості повітря може житись від різних джерел. Мережеве живлення забезпечує стабільну роботу пристрою та підходить для стаціонарних систем.

Батарейки або акумулятори забезпечують автономну роботу пристрою, важливо враховувати енергоспоживання компонентів для забезпечення тривалого часу роботи.

Сонячні панелі можуть використовуватись для підзарядки акумуляторів, забезпечуючи тривалу автономну роботу в умовах наявності сонячного світла. Зібрані дані з сенсорів можуть передаватись до хмарних сервісів або локальних серверів для подальшої обробки, аналізу та візуалізації.

Для цього можуть використовуватись такі платформи, як ThingSpeak, яка є хмарною платформою для збору, обробки та візуалізації даних з IoT-пристроїв, Blynk, яка дозволяє створювати мобільні додатки для керування IoT-пристроями та візуалізації даних, Node-RED, який є інструментом для візуального програмування та дозволяє створювати потоки обробки даних з IoT-пристроїв, а також InfluxDB та Grafana, які є комбінацією бази даних та інструменту візуалізації для зберігання та аналізу часових рядів даних.

Вибір апаратного забезпечення для системи моніторингу якості повітря в приміщенні з використанням IoT-технологій є критичним етапом, який впливає на точність вимірювань, надійність роботи системи та її енергоспоживання. Необхідно ретельно підходити до вибору сенсорів, мікроконтролерів, модулів зв'язку та джерел живлення, враховуючи специфіку приміщення, вимоги до точності вимірювань, енергоспоживання та бюджет проєкту. Крім того, важливо враховувати умови експлуатації, такі як рівень забрудненості, температура та вологість, що можуть впливати на стабільність роботи окремих компонентів.

## 2.2 Функційні вимоги до системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

Вимоги до програмного забезпечення - це набір вимог щодо властивостей, якості та функцій програмного забезпечення, яке буде розроблено, або знаходиться у розробці. Вимоги визначаються в процесі аналізу вимог та фіксуються в специфікації вимог, діаграмах прецедентів та інших артефактах процесу аналізу та розробки вимог [16].

Функціональні вимоги (Functional Requirements) - це вимоги до програмного забезпечення, які описують внутрішню роботу системи, її поведінку: обчислення даних, маніпулювання даними, обробка даних та інші специфічні функції, які має виконувати система [17], тобто іншими словами функціональні вимоги визначають що саме повинен робити програмний продукт і за що відповідають окремі його частини. Ці вимоги описуються в документі Специфікація вимог до програмного забезпечення.

На відміну від нефункціональних вимог, які визначають якою система повинна бути, функціональні вимоги визначають, що система повинна робити. Функціональні вимоги до програмного забезпечення визначаються на першій стадії процесу розробки ПЗ - на етапі аналізу вимог[17].

Для системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT було розроблено ряд функціональних вимог, які представлено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Функціональні вимоги до системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

№	Функціональна вимога	Опис	Використовувані компоненти
1	Збір температури та вологості	Вимірювання температури та вологості повітря з регулярним інтервалом	DHT22, BME280

Кінець таблиці 2.1

2	Моніторинг концентрації CO <sub>2</sub>	Вимірювання рівня вуглекислого газу у приміщенні	MH-Z19B, Senseair S8
3	Виявлення летких органічних сполук (VOC)	Визначення концентрації шкідливих ЛОС у повітрі	SGP30, CCS811
4	Вимірювання рівня твердих частинок (PM2.5, PM10)	Оцінка рівня пилу та мікрочастинок у повітрі	SDS011, PMS5003
5	Виявлення токсичних газів (аміак, бензол, дим, H <sub>2</sub> S тощо)	Виявлення наявності шкідливих газів	MQ-135, MiCS-6814
6	Обробка та агрегація даних	Збір даних з усіх сенсорів, фільтрація шумів, агрегація	ESP32
7	Передача даних по Wi-Fi	Відправлення зібраної інформації на хмарний сервер або локальну систему	ESP32 (вбудований Wi-Fi), MQTT/HTTP
8	Інтерфейс користувача	Веб-/мобільний інтерфейс для перегляду даних в реальному часі та історії	ESP32 + сервер/додаток
9	Система сповіщень	Генерація попереджень при перевищенні норм: звукові сигнали, повідомлення	ESP32 + звуковий модуль / мережеве повідомлення
10	Автоматичне оновлення програмного забезпечення	Можливість оновлення прошивки ESP32 через інтернет	ESP32

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

## 2.3 Нефункційні вимоги до системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

Згідно з [53], нефункціональні вимоги (NFR, non-functional requirements) - це специфікації, що окреслюють експлуатаційні характеристики та обмеження системи, спрямовані на підвищення її ефективності. Вони не стосуються безпосередньо функціональності, але визначають, наскільки якісно працюватиме система, з урахуванням таких аспектів, як швидкодія, безпека, надійність, збереження цілісності даних тощо (рисунки 2.2).

Згідно зі структурою стандартів ISO/IEC 25000, нефункціональні вимоги класифікуються як вимоги до якості інформаційної системи та програмного забезпечення. Ці вимоги визначають, як система повинна працювати, забезпечуючи необхідну якість у різних аспектах її функціонування. Особливо це важливо для систем інтернету речей (IoT), де ефективність та надійність роботи залежать не лише від виконання функціональних завдань, а й від здатності системи працювати в реальних умовах з урахуванням обмежень ресурсів та середовища експлуатації.

Нефункціональні вимоги для IoT-системи моніторингу якості повітря охоплюють такі аспекти, як надійність, зручність використання, масштабованість та ефективність. Наприклад, надійність системи забезпечується її здатністю безперервно функціонувати протягом тривалого часу без збоїв, що є критичним для моніторингу параметрів повітря в реальному часі. Зручність використання включає інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та простоту налаштування, що дозволяє користувачам без труднощів взаємодіяти з системою. Масштабованість гарантує можливість розширення системи для охоплення більшої кількості приміщень або інтеграції з іншими системами моніторингу. Ефективність, в свою чергу, передбачає оптимальне використання ресурсів, таких як енергоспоживання та пропускна здатність мережі, що є важливим для забезпечення автономної роботи пристроїв.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Перелік типових нефункціональних вимог до програмного проекту згідно з [53]

Для системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT було також розроблено ряд нефункціональних вимог, які представлено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Нефункціональні вимоги до системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

№	Нефункціональна вимога	Пояснення
1	Надійність	Система має стабільно працювати без збоїв, забезпечуючи безперервний моніторинг якості повітря.
2	Енергоефективність	Зниження енергоспоживання для тривалої автономної роботи, особливо при використанні акумуляторів.
3	Мережева доступність	Забезпечення стабільної передачі даних до хмари або локального сервера із захистом від втрати зв'язку.

Кінець таблиці 2.2

4	Юзабіліті (зручність використання)	Інтерфейс має бути простим та зрозумілим для користувачів без технічної підготовки.
5	Масштабованість	Можливість розширення системи шляхом додавання нових сенсорів або пристроїв без зміни архітектури.
6	Безпека	Захист даних та пристроїв від несанкціонованого доступу, забезпечення конфіденційності інформації.
7	Оновлюваність	Можливість віддаленого оновлення програмного забезпечення для вдосконалення системи.

#### 2.4 Вимоги до апаратного та програмного забезпечення та архітектури системи

Для розробки системи моніторингу якості повітря з використанням технологій Інтернету речей (IoT) було визначено низку вимог до апаратного та програмного забезпечення. Система має забезпечувати збір, обробку та передачу даних від широкого спектра сенсорів, які вимірюють параметри навколишнього середовища, зокрема концентрації вуглекислого газу, летких органічних сполук, дрібнодисперсних частинок, температури, вологості та інших шкідливих газів. Апаратна частина системи побудована на основі мікроконтролера ESP32, який є енергоефективним і функціональним пристроєм з двоядерним процесором Xtensa LX6, частотою до 240 МГц та підтримкою бездротових інтерфейсів Wi-Fi і Bluetooth. Мікроконтролер має достатню кількість цифрових входів/виходів, інтерфейсів UART, I2C та SPI для підключення різноманітних сенсорів, а також щонайменше 1 МБ оперативної пам'яті та 4 МБ флеш-пам'яті для зберігання програми та буферизації даних.

До системи підключаються такі сенсори:

1) DHT22 та BME280 – для вимірювання температури та вологості повітря. BME280 додатково вимірює атмосферний тиск, що дозволяє оцінити загальний стан метеоумов (рисунки 2.3-2.4).

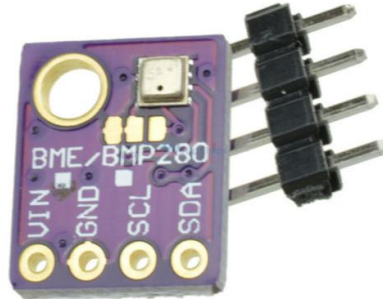


Рисунок 2.3 – Барометр BMP 280 [30]

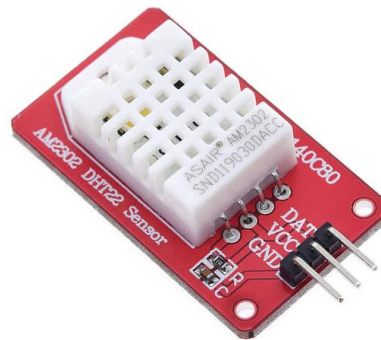


Рисунок 2.4 – Давач температури DHT22 [31]

2) MH-Z19B і Senseair S8 – для моніторингу концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) у повітрі в діапазоні 0–5000 ppm. Обидва сенсори працюють через UART-інтерфейс (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Сенсор Senseair S8 [32]

3) SGP30 та CCS811 – сенсори для визначення рівня летких органічних сполук (VOC) та оцінки умовного рівня CO<sub>2</sub> (eCO<sub>2</sub>). Обидва сенсори використовують інтерфейс I2C (рисунки 2.6-2.7).



Рисунок 2.6 – Давач SGP30 [33]



Рисунок 2.7 – Сенсор CCS811 [34]

4) SDS011 та PMS5003 – лазерні сенсори для вимірювання концентрації твердих частинок діаметром PM2.5 та PM10 у повітрі. Вони підключаються через UART та забезпечують високу точність вимірювання пилу (рисунки 2.8-2.9).



Рисунок 2.8 – Сенсор SDS011 [35]

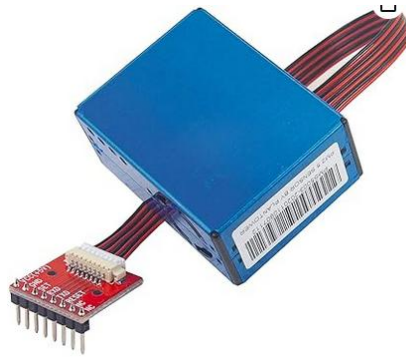


Рисунок 2.9 – Сенсор PMS5003 [36]

5) MQ-135 та MiCS-6814 – багатофункціональні сенсори для виявлення широкого спектра газів, таких як аміак, сірководень, бензол, дим, а також озону, діоксиду азоту, чадного газу тощо. MQ-135 має аналоговий вихід, а MiCS-6814 – цифровий інтерфейс (I2C або SPI в залежності від конкретного модуля) (рисунки 2.10-2.11).



Рисунок 2.10 – Давач газу MQ-135 [37]

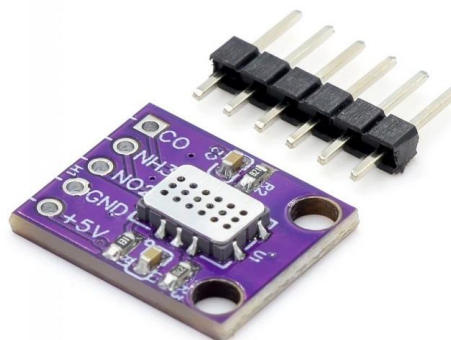


Рисунок 2.11 – Давач газу MiCS-6814 [38]

Перелік сенсорів з їх параметрами представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Перелік сенсорів з їх параметрами для розробки системи моніторингу якості повітря

Категорія	Модель	Параметри
Температура/вологість	DHT22	Температура: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , Вологість: $\pm 2\%$ Інтерфейс: цифровий
Температура/вологість/тиск	BME280	Інтерфейс: I2C/SPI
CO <sub>2</sub>	MH-Z19B	Діапазон: 0–5000 ppm, Інтерфейс: UART/PWM
CO <sub>2</sub>	Senseair S8	Діапазон: 0–5000 ppm, Інтерфейс: UART
VOC + CO <sub>2</sub> (eCO <sub>2</sub> )	SGP30	Інтерфейс: I2C
VOC + eCO <sub>2</sub>	CCS811	Інтерфейс: I2C
PM2.5 / PM10	SDS011	Інтерфейс: UART
PM2.5 / PM10	PMS5003	Інтерфейс: UART
VOC, CO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> тощо	MQ-135	Аналоговий вихід
VOC, CO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> тощо	MiCS-6814	Інтерфейс: I2C або SPI (залежно від моделі)

Функціональність програмного забезпечення охоплює: ініціалізацію сенсорів та їх періодичне опитування, фільтрацію та перевірку достовірності отриманих даних, формування структурованих повідомлень (у форматі JSON), бездротову передачу даних у хмару або на локальний сервер, опціональне збереження даних на microSD-карті або локально, можливість оновлення прошивки по повітря (OTA).

Також перед початком експлуатації необхідно забезпечити калібрування сенсорів, особливо тих, що вимірюють VOC та CO<sub>2</sub>, для досягнення максимальної точності. У програмному коді реалізується обробка аномальних та пропущених значень, що дозволяє підтримувати стабільність роботи системи в умовах змін навколишнього середовища.

У ході роботи було пораховано приблизну вартість компонентів для побудови IoT-системи моніторингу якості повітря з використанням мікроконтролера ESP32 та зазначених вище сенсорів (ціни вказані в гривнях станом на червень 2025 року). Вартість усіх компонентів наведена у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Приблизна вартість компонентів - складових IoT-системи моніторингу якості повітря

Компонент	Приблизна ціна (грн)
Мікроконтролер ESP32-DevKitC V4 WROOM-32U	394
Сенсори температури та вологи	
DHT22	191
BME280	210
Сенсори CO <sub>2</sub>	
MH-Z19B	980

Кінець таблиці 2.4

Senseair S8	~1 500
Сенсори VOC та eCO <sub>2</sub>	
SGP30	448
CCS811	505
Сенсори PM2.5 / PM10	
SDS011	1 265
PMS5003	638
Сенсори інших газів	
MQ-135	~100
MiCS-6814	930
Додаткові компоненти	
Блок живлення, перетворювачі рівнів, корпус	~300
Разом	7 461

Загальна вартість системи становить приблизно 7 461 грн, що еквівалентно близько 200 доларів США за поточним курсом. Ціни можуть варіюватися залежно від постачальника та наявності на складі.

Деякі сенсори можуть бути замінені або виключені залежно від конкретних вимог до системи. Додаткові витрати можуть включати в себе вартість доставки, друкованих плат, монтажу та інші супутні витрати.

## 2.5 Структурна схема та алгоритм роботи системи моніторингу якості повітря

У ході роботи було розроблено структурну схему роботи системи моніторингу якості повітря на основі IoT. Для побудови схеми було використано датчики, описані у розділі 2.4 та мікроконтролер ESP32. Структурну схему представлено на рисунку 2.12.

Для реалізації системи моніторингу якості повітря на основі технологій Інтернету речей (IoT) використовується мікроконтролер ESP32 у поєднанні з низкою сенсорів, які здійснюють вимірювання різноманітних параметрів повітряного середовища. Усі сенсори згруповано за функціональним призначенням відповідно до типу забруднень або параметрів, які вони контролюють. Першу групу становлять сенсори температури та вологості, які фіксують базові метеоумови, що мають вплив на інтерпретацію інших показників. Зокрема, DHT22 вимірює температуру та відносну вологість, а BME280 також реєструє атмосферний тиск, що дозволяє враховувати барометричні зміни.

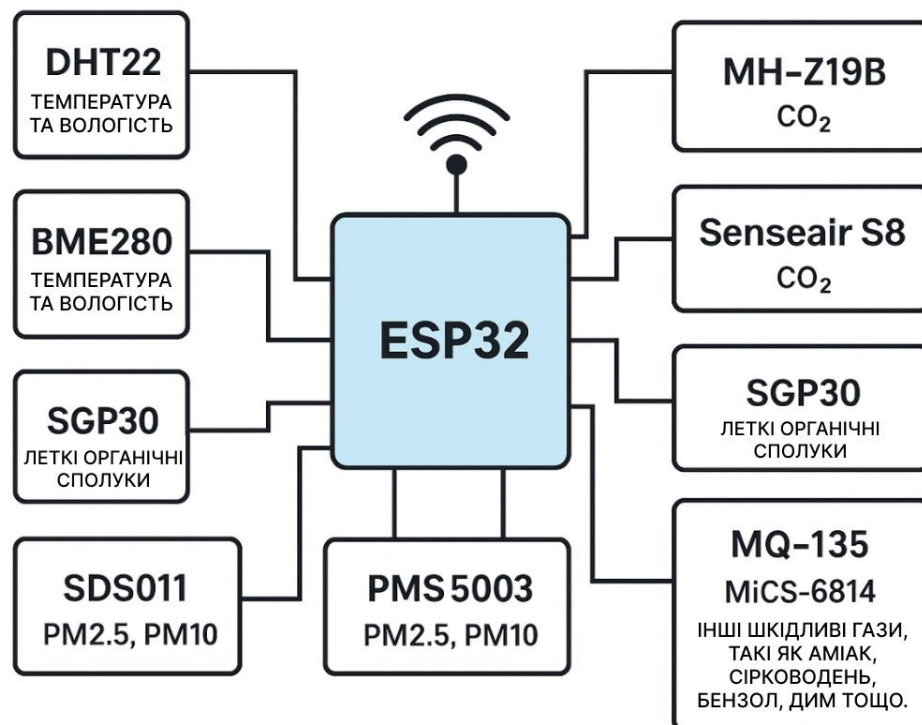


Рисунок 2.12 – Структурна схема системи моніторингу якості повітря на основі IoT

Друга група – сенсори концентрації вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), що є критичними для оцінки рівня вентиляції у приміщенні. У цьому контексті використовуються ІЧ-сенсори MH-Z19B та Senseair S8, які здатні точно вимірювати вміст CO<sub>2</sub> у повітрі, зокрема в діапазоні до 5000 ppm.

Третю групу формують сенсори летких органічних сполук (VOC) та еквівалентного вуглекислого газу (eCO<sub>2</sub>), які визначають наявність шкідливих органічних речовин. До цієї групи входять сенсори SGP30 та CCS811, які працюють на основі MOX-технології (metal-oxide) і дозволяють виявляти концентрацію VOC, а також непрямо оцінювати рівень CO<sub>2</sub>.

Четверта група - це сенсори твердих частинок, які контролюють наявність дрібнодисперсних частинок (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), що мають серйозний вплив на здоров'я дихальної системи. У системі використовуються SDS011 і PMS5003 - лазерні сенсори, що дозволяють точно визначати концентрацію частинок різного діаметру.

П'ята група -газоаналізатори для виявлення шкідливих газів, таких як аміак, сірководень, чадний газ, метан, спирти, бензол тощо. До цієї категорії належать сенсори MQ-135 та MiCS-6814, які мають здатність виявляти широкий спектр токсичних речовин.

Усі зібрані дані обробляються центральним модулем - ESP32, який не лише забезпечує зчитування інформації з усіх підключених сенсорів, а й здійснює попередню обробку та передає результати на віддалений сервер або хмарну платформу для подальшого аналізу, зберігання чи візуалізації. Завдяки вбудованим модулям Wi-Fi та Bluetooth, ESP32 ідеально підходить для бездротових IoT-рішень у сфері екологічного моніторингу. Алгоритм роботи розробленої системи представлено на рисунку 2.13.

Опишемо алгоритм роботи розробленої системи у вигляді послідовних кроків.



Рисунок 2.13 – Алгоритм роботи системи моніторингу якості повітря на основі IoT

Крок 1 - початок. Система активується (вмикається живлення або запускається основна програма ESP32).

Крок 2 - ініціалізація ESP32. Виконується запуск та налаштування мікроконтролера ESP32, включаючи налаштування портів, драйверів для сенсорів, мережевих параметрів тощо.

Крок 3 - зчитування даних із сенсорів. ESP32 ініціює процес зчитування інформації з підключених сенсорів.

Крок 4 - обробка даних із сенсорів, згрупованих за призначенням:

Сенсори температури, вологості та тиску:

- DHT22 - вимірює температуру та відносну вологість.
- BME280 - вимірює температуру, вологість та атмосферний тиск.

- Сенсори CO<sub>2</sub> (вуглекислий газ). Вимірюють концентрацію CO<sub>2</sub> у приміщенні, що вказує на якість вентиляції та наявність людей.
- MH-Z19B;
- Senseair S8.
- Сенсори дрібнодисперсних частинок (PM). Фіксують кількість частинок PM2.5 та PM10 (пил, дим, сажа тощо), що критично для якості повітря.
- SDS011;
- PMS5003.

Крок 5 - передача даних через Wi-Fi. Отримані значення передаються на зовнішній сервер, хмарну платформу або мобільний застосунок користувача через Wi-Fi-модуль ESP32.

Крок 6 - кінець. Цикл зчитування завершується. Після цього система або переходить у режим очікування, або повторює цикл через заданий інтервал часу (наприклад, кожні 5 хвилин).

## 2.6 Висновки

У другому розділі було здійснено комплексне проектування системи моніторингу якості повітря із застосуванням технологій Інтернету речей (IoT), що дозволило сформувавши технічну базу для подальшої реалізації проєкту.

У підрозділі 2.1 здійснено обґрунтований вибір апаратного забезпечення для збору та передачі даних про параметри повітря. В якості основного обчислювального модуля обрано мікроконтролер ESP32 завдяки його високій продуктивності, енергоефективності та наявності вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth. До складу системи включено низку сенсорів, згрупованих за призначенням: для вимірювання температури і вологості – DHT22 та BME280; для аналізу рівня CO<sub>2</sub> – MH-Z19B та Senseair S8; для визначення концентрації летких органічних сполук (VOC) – SGP30 та CCS811; для моніторингу твердих частинок (PM2.5 та PM10) – SDS011 та PMS5003; а також для виявлення інших шкідливих

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газів – MQ-135 і MiCS-6814. У підрозділі 2.2 сформульовано функційні вимоги до системи, серед яких: безперервний збір даних про якість повітря, передача цих даних на сервер або хмарне середовище, обробка інформації, візуалізація у зручному інтерфейсі та генерація повідомлень про перевищення критичних рівнів забруднення. У підрозділі 2.3 розглянуто нефункціональні вимоги, що включають надійність, масштабованість, безпеку, зручність використання, сумісність, енергоефективність та відповідність стандартам якості. Ці вимоги є критично важливими для забезпечення стабільної та ефективної роботи системи в реальних умовах. У підрозділі 2.4 описано загальні технічні вимоги до апаратного забезпечення, його енергоспоживання, взаємодію між компонентами, а також загальні вимоги до архітектури IoT-системи, яка має бути модульною, розширюваною та стійкою до збоїв. У підрозділі 2.5 представлено структурну архітуру системи, а також алгоритм її функціонування, який включає циклічний збір даних з датчиків, попередню обробку, надсилання на сервер, зберігання у базі даних, подальший аналіз та виведення результатів користувачу.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ТЕСТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

#### 3.1 Розробка апаратної частини системи та її інтеграція з IoT

Завдяки розвитку технології Інтернету речей (IoT), моніторинг якості повітря в режимі реального часу став доступнішим та ефективнішим. У даній роботі було створено систему моніторингу якості повітря на основі Інтернету речей, використовуючи мікроконтролер ESP32, датчик BME680 та платформу Blynk IoT для збору та аналізу даних про параметри якості повітря, такі як температура, вологість, тиск та леткі органічні сполуки (ЛОС).

У розділі 2 було спроектовано структурну схему та алгоритм роботи системи моніторингу якості повітря на базі IoT. Схема архітектури пристрою зображена на рисунку 3.1.

Система моніторингу якості повітря складається з кількох взаємопов'язаних компонентів. Основу її становить сенсорна частина, яка включає модулі DHT22 і BME280 для вимірювання температури, вологості та атмосферного тиску, сенсори MH-Z19B і Senseair S8 для визначення рівня вуглекислого газу, а також SDS011 і PMS5003 для фіксації концентрації дрібнодисперсних частинок у повітрі. Усі ці датчики передають зібрані дані до мікроконтролера ESP32, який є центральним елементом системи.

Саме він відповідає за ініціалізацію, обробку отриманої інформації та її подальшу передачу. Вбудований у ESP32 Wi-Fi модуль забезпечує бездротову комунікацію з хмарним сервером або мобільним застосунком, куди надсилаються результати вимірювань для подальшого аналізу, зберігання або візуалізації. Таким чином, система забезпечує безперервний збір та передачу екологічних даних у зручному цифровому форматі. Завдяки підтримці двоядерного процесора Xtensa LX6 з тактовою частотою до 240 МГц, ESP32 здатний ефективно обробляти дані в реальному часі, що є критично важливим для моніторингу змін параметрів повітря.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

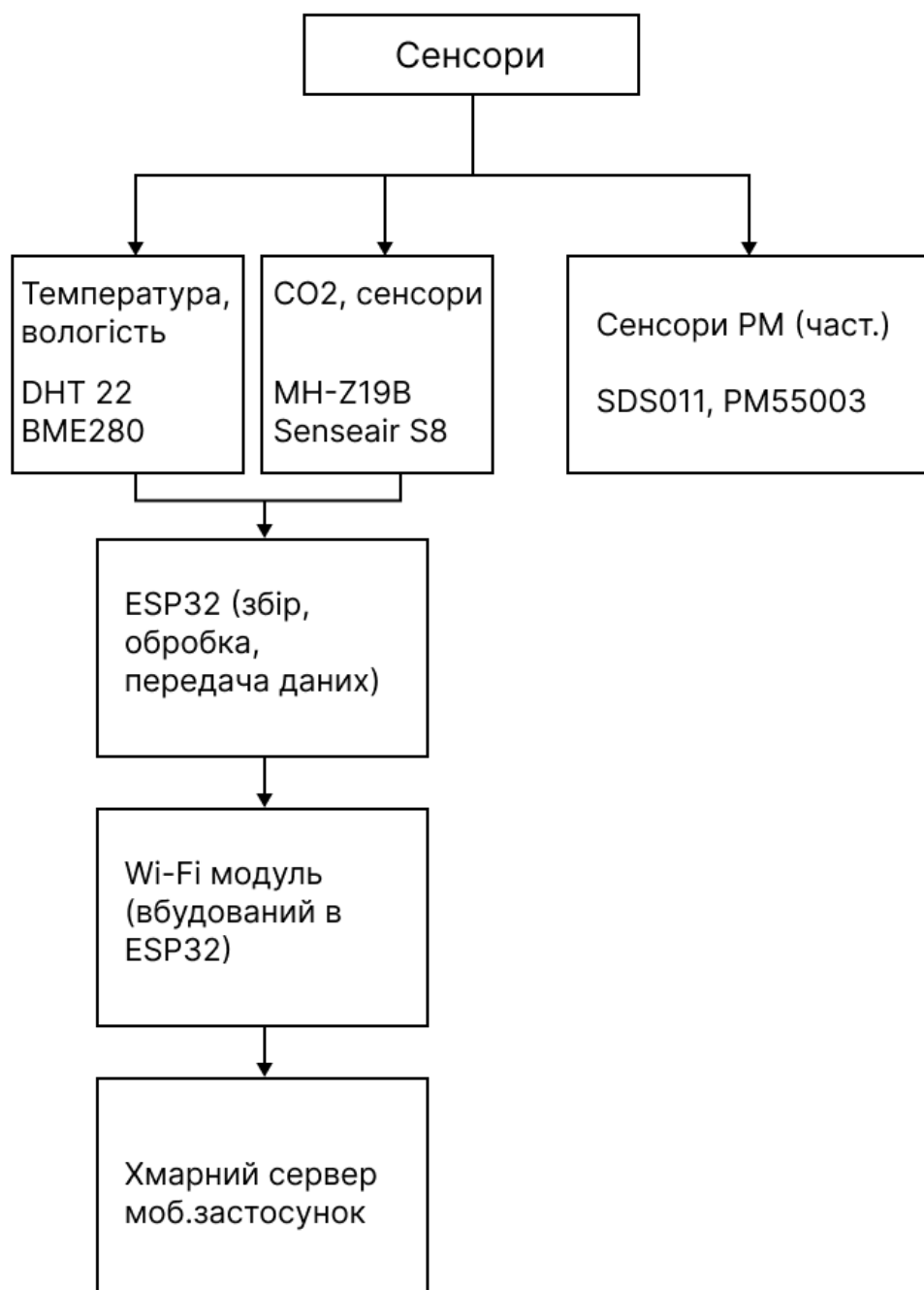


Рисунок 3.1 – Схема архітектури пристрою для моніторингу якості повітря на базі IoT

Система складається з мікроконтролера ESP32 , який збирає дані з датчика навколишнього середовища BME680 та передає їх до хмари Blynk IoT через Wi-Fi. Користувачі можуть контролювати якість повітря в режимі реального часу за допомогою мобільного застосунку Blynk. Система забезпечує постійні оновлення,

що дозволяє користувачам відстежувати тенденції якості повітря та вживати превентивних заходів, якщо рівень забруднення зростає.

Особливості системи:

- Моніторинг температури, вологості, тиску та якості повітря (рівень летких органічних сполук) у режимі реального часу.
- Бездротова передача даних за допомогою WiFi та Blynk.
- Віддалений доступ через мобільний застосунок.
- Низьке енергоспоживання для безперервної роботи.
- Масштабованість для додаткових датчиків або функцій.

Для розробки апаратної частини було використано компоненти, які описані у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перелік компонентів для створення системи моніторингу якості повітря на базі IoT

Компонент	Опис
Плата ESP32	Мікроконтролер з підтримкою Wi-Fi
Датчик BME680	Датчик якості повітря (ЛОС, температура, вологість, тиск)
Датчик MQ135	Датчик якості повітря
Датчик DHT11	Датчик температури та вологості
LCD-дисплей	РК-дисплей з перетворювачем I2C
Дроти-перемички	Для з'єднань ланцюгів
Макетна плата	Для прототипування з'єднань
Джерело живлення 5 В	Блок живлення для ESP32

Датчики зв'язуються з ESP32 за допомогою протоколу I2C. Підключаємо датчик MQ135 до контакту A0 плати ESP32. Підключаємо датчик DHT11 до контакту D2 плати. Підключаємо РК-дисплей до плати через перетворювач I2C. Збираємо компоненти на макетній платі за допомогою з'єднувальних кабелів та проводів (рисунок 3.2).

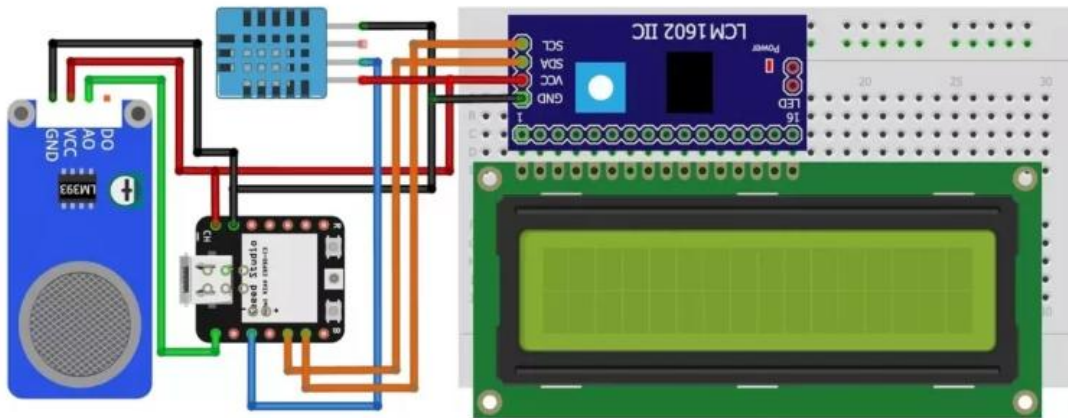


Рисунок 3.2 – Монтажна схема системи моніторингу якості повітря на базі IoT

Для віддаленої візуалізації даних використовуватимемо платформу Blynk IoT :

- 1) Завантажуємо та встановлюємо додаток Blynk (доступний для Android та iOS).
- 2) Створюємо новий проєкт і вибираємо ESP32 як обладнання.
- 3) Копіюємо токен автентифікації Blynk (Auth Token) з програми.
- 4) Додаємо чотири віртуальні піни (V0, V1, V2, V3) для вимірювання температури, вологості, тиску та якості повітря.
- 5) Додаємо датчики для перегляду даних з відповідних віртуальних пінів.
- 6) Зберігаємо налаштування та переходимо до написання коду програми.

Мікроконтролер ESP32 програмується за допомогою середовища розробки Arduino IDE з встановленими необхідними бібліотеками.

- Adafruit BME680 (для показань датчиків).
- Wi-Fi (для підключення до інтернету).

– Blynk (для хмарної інтеграції).

Для налаштування системи моніторингу якості повітря на платформі Blynk Cloud необхідно виконати низку послідовних дій. Спочатку потрібно авторизуватись на офіційному вебсайті Blynk Cloud, після чого перейти до розділу «Developers» і натиснути кнопку «New Template». У вікні створення нового шаблону слід ввести назву - «Air Quality Monitoring», обрати апаратну платформу ESP32 та вказати тип підключення Wi-Fi. Після заповнення відповідних полів шаблон зберігається натисканням кнопки «Done».

Далі користувач переходить до розділу «Data Streams», де послідовно створює потоки даних для моніторингу ключових параметрів. Для температури створюється потік із назвою «Temperature», прив'язаний до віртуального піна V0, з типом даних «Double», максимально допустимим значенням 100 та одиницею виміру у градусах Цельсія. Аналогічно налаштовується потік вологості з назвою «Humidity», який використовує пін V1, той самий тип даних, межу до 100 і одиницю виміру у відсотках. Потік для оцінки якості повітря називається «Air Quality», прив'язаний до піна V2, допускає значення до 4000 і має одиницю виміру «PPM» (кількість частинок на мільйон).

Після створення потоків даних необхідно перейти до веб-панелі управління (Web Dashboard), де додаються візуальні елементи для відображення інформації, такі як циферблати (gauge widgets). Для кожного з потоків - температури, вологості та якості повітря додається окремий циферблат, кожен з яких налаштовується індивідуально: вибирається відповідний потік, задається бажаний колір і підтверджується збереження.

Наступним кроком є налаштування подій і сповіщень. У розділі «Events and Notifications» створюється нова подія з назвою «Pollution\_Alert» і коротким описом, наприклад, «Bad air». Обмеження для події встановлюється в межах однієї секунди. Активуються відповідні параметри: сповіщення у мобільному застосунку, показ у таймлайні, надсилання електронного листа власнику пристрою та push-сповіщення.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На етапі налаштування пристрою потрібно створити новий пристрій, обравши пункт «New Device» у розділі «Devices», після чого слід вказати шаблон «Air Quality Monitoring», який був створений раніше. Система надасть Template ID, Template Name та Authentication Token – ці параметри потрібно скопіювати для подальшого використання в програмному коді.

Завершальним етапом є програмування ESP32 у середовищі розробки. Потрібно вибрати відповідну плату та порт, після чого у коді слід ввести отримані раніше ідентифікатор шаблону, назву шаблону та токен автентифікації. Це дозволяє встановити зв'язок між апаратною частиною системи та хмарною платформою Blynk, забезпечуючи повноцінне функціонування IoT-системи для моніторингу якості повітря. Код програми у середовищі Arduino IDE представлено у додатку Г. Спроекований пристрій (апаратну частину системи моніторингу якості повітря на базі IoT) представлено на рисунку 3.3.

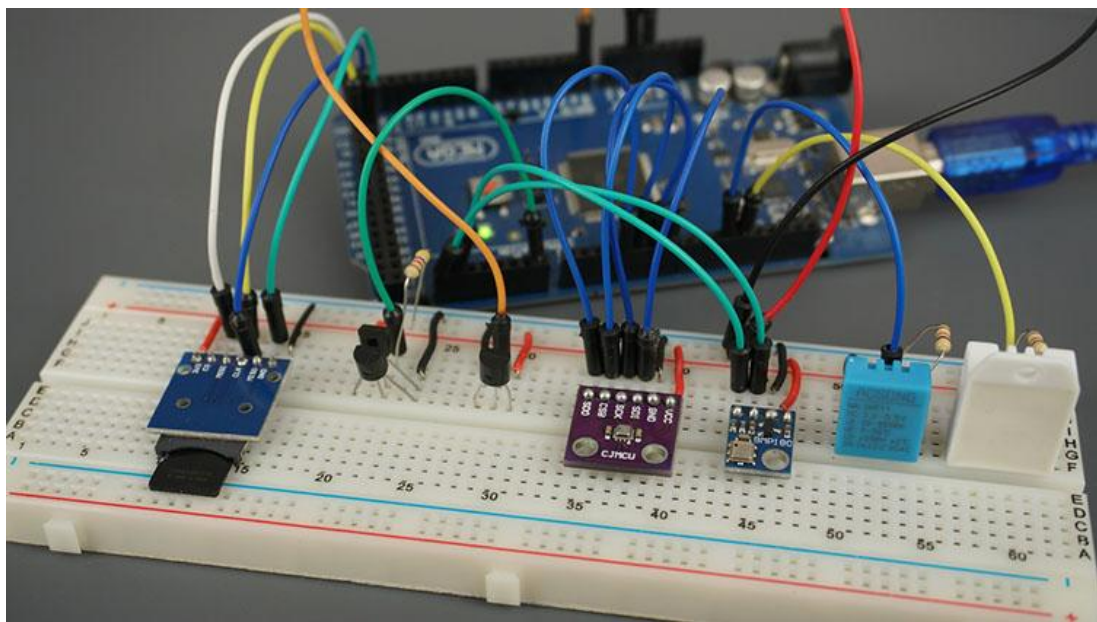


Рисунок 3.3 – Спроекований пристрій (апаратна частина системи моніторингу якості повітря на базі IoT)

Для реалізації IoT-системи моніторингу якості повітря на базі мікроконтролера ESP32 використовуються кілька важливих бібліотек, кожна з яких

виконує специфічну функцію. Бібліотека Wire.h призначена для реалізації інтерфейсу I2C, який забезпечує обмін даними між ESP32 та периферійними пристроями, зокрема сенсорами. Для зчитування параметрів довкілля, таких як температура, вологість, атмосферний тиск та рівень летких органічних сполук (VOC), використовується датчик BME680. Для коректної роботи з цим сенсором необхідне підключення бібліотек Adafruit\_Sensor.h та Adafruit\_BME680.h, які забезпечують обробку та інтерпретацію даних.

Щоб забезпечити бездротовий зв'язок системи з хмарною платформою, використовується бібліотека WiFi.h, яка дозволяє ESP32 підключатися до мережі Wi-Fi. Для інтеграції з платформою Blynk, що відповідає за візуалізацію та моніторинг даних у режимі реального часу, застосовується бібліотека BlynkSimpleEsp32.h. Вона надає необхідні функції для підключення пристрою до Blynk-сервера та передавання туди даних із сенсорів. Таким чином, усі зазначені бібліотеки є ключовими для забезпечення стабільної роботи системи моніторингу якості повітря на основі ESP32.

Бібліотеки, які використано в програмі - це:

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL31_fOnAG7"  
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Pollution Monitoring System"  
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "Auth Code"
```

Наступні облікові дані Blynk (ідентифікатор шаблону, ім'я та токен автентифікації) необхідні для підключення ESP32 до хмари Blynk:

```
#define BLYNK_PRINT Serial  
#include <Wire.h>  
#include <Adafruit_Sensor.h>  
#include <Adafruit_BME680.h>  
#include <WiFi.h>  
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
```

Повний лістинг програмного коду представлено у додатку Г.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Розробка програмного забезпечення для мобільного застосунку для моніторингу якості повітря

У межах даної роботи було поставлено завдання розробити мінімалістичний мобільний застосунок для моніторингу якості повітря, який дозволяє користувачам отримувати актуальні дані про стан атмосферного повітря як у відкритому просторі, так і в приміщеннях. Основними функціональними вимогами до застосунку були: автоматичне визначення місця перебування користувача, візуалізація показників індексу якості повітря (AQI), побудова графіків забруднення, надсилання сповіщень про критичний стан повітря та інтеграція з внутрішніми сенсорами або ручне введення даних для внутрішнього моніторингу.

На етапі проєктування було використано інструменти Figma та Miro для створення прототипів екранів, побудови карти переходів та загального UX-флоу. Дизайн орієнтувався на мінімалізм - простий білий фон, зрозуміла типографіка, плоскі іконки та плавна навігація між екранами.

Для реалізації мобільного застосунку було обрано фреймворк Flutter з мовою програмування Dart. Альтернативним варіантом, який також розглядався, є React Native з використанням TypeScript. Обидві технології забезпечують можливість кросплатформної розробки, тобто застосунок функціонує як на Android, так і на iOS.

Модуль геолокації реалізований за допомогою бібліотеки geolocator, що дозволяє отримувати координати пристрою користувача. Ці координати використовуються для отримання актуальної інформації про якість повітря за допомогою відкритих API, таких як OpenAQ, IQAir або Breezometer. Запити до зовнішніх сервісів здійснюються за допомогою бібліотеки http (у випадку Flutter) або axios (для React Native). Дані обробляються у форматі JSON та виводяться у вигляді значення AQI, шкали кольорів, а також текстових пояснень. Повний перелік технологій для реалізації представлено у таблиці 3.2.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Повний перелік технологій для реалізації

Етап розробки	Інструменти та технології	Опис
Ідея та проєктування	Figma, Miro	Визначення функцій, UX flow, розробка мокапів і структури екранів (10–12 штук)
UI/UX дизайн	Figma, Adobe XD	Створення мінімалістичного дизайну: білий фон, чиста типографіка, flat icons
Розробка застосунку	Flutter (Dart)	Кросплатформна мобільна розробка для Android і iOS
Геолокація	geolocator (Flutter), react-native-geolocation-service	Визначення місця користувача для відображення локального AQI
API для даних	OpenAQ API, IQAir API, Breezometer	Отримання актуальних даних про зовнішню/внутрішню якість повітря
HTTP-запити	http (Flutter)	Обробка запитів до API, парсинг JSON
Управління станом	Riverpod (Flutter)	Менеджмент стану застосунку та навігації

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Кінець таблиці 3.2

Побудова графіків	charts_flutter (Flutter),	Візуалізація історії AQI, трендів забруднень
Сповіщення	Firebase Messaging, OneSignal	Push-сповіщення при погіршенні якості повітря
Внутрішній моніторинг	Підключення до BLE-сенсорів, введення вручну	Підтримка CO <sub>2</sub> /PM-сенсорів для кімнат або ручного введення значень
Тестування	Flutter Test	Юніт, інтеграційне та UI-тестування
Аналітика та підтримка	Firebase Analytics, Sentry	Відстеження помилок, аналіз активності користувачів

Для відображення історії забруднення повітря у вигляді графіків застосовано бібліотеку charts\_flutter, що дозволяє будувати як денні, так і тижневі графіки змін рівня забруднення. Додатково реалізовано карту, побудовану на основі бібліотеки mapbox\_gl, де відображено стан повітря у різних містах або мікрорайонах.

Менеджмент стану додатку здійснюється з використанням архітектурного патерну Provider, який дозволяє зручно обробляти навігацію, асинхронні запити та локальні оновлення UI.

У застосунок додано функціональність сповіщень про погіршення якості повітря, реалізовану за допомогою Firebase Messaging. У випадках, коли якість повітря перевищує встановлений поріг, користувач отримує push-сповіщення із відповідним попередженням.

Крім зовнішнього моніторингу, користувач має змогу вводити показники CO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> та інших параметрів вручну, або ж зчитувати їх із внутрішніх сенсорів через Bluetooth. Це розширює функціональність застосунку і дозволяє контролювати якість повітря у приміщеннях.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тестування застосунку проводилося з використанням unit-тестів (Flutter Test), UI-тестів (Appium) та інтеграційних сценаріїв. Для забезпечення автоматизованої збірки та розгортання було налаштовано CI/CD-процеси на платформі Codemagic. Після успішного проходження тестів, застосунок готується до публікації у Google Play та App Store, де формуються відповідні скріншоти, іконки та мета-опис.

Для моніторингу стабільності роботи та аналітики користувачів інтегровано сервіси Firebase Analytics та Sentry. Це дозволяє відстежувати як поведінку користувачів, так і критичні помилки, що можуть виникнути під час експлуатації застосунку. У майбутньому планується впровадження додаткових функцій, зокрема голосового помічника, підтримки віджетів для домашнього екрану, рекомендацій на основі AI (наприклад, коли провітрювати кімнату), а також реалізація темної теми для зручності використання у нічний час. Інтеграція сервісів Firebase Analytics та Sentry в мобільний застосунок для моніторингу якості повітря дозволяє не лише відстежувати поведінку користувачів та виявляти критичні помилки, але й оптимізувати користувацький досвід на основі зібраних даних. Firebase Analytics надає можливість аналізувати взаємодію користувачів з додатком, визначати популярні функції та виявляти потенційні проблеми у використанні, що сприяє покращенню інтерфейсу та функціональності застосунку. Sentry, у свою чергу, забезпечує реальний моніторинг помилок, дозволяючи швидко реагувати на збої та неполадки.

На рисунку 3.4 а) представлено головний екран мобільного застосунку «AirCheck», на якому присутні логотип та назва застосунку, гасло “Чисте повітря - чисте життя”, а також кнопки “вхід” та “реєстрація”. Незареєстрований користувач повинен зареєструватись, ввівши свої особисті дані, такі як ім'я, прізвище, електронну пошту та придумати пароль для входу (рисунок 3.4 в). Зареєстрований користувач повинен авторизуватися в застосунку, ввівши свій логін та пароль (рисунок 3.4 б). Далі застосунок не запитуватиме ввід логіну та паролю, а користувач автоматично бачитиме головний екран застосунку (рисунок 3.5).

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 53
Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

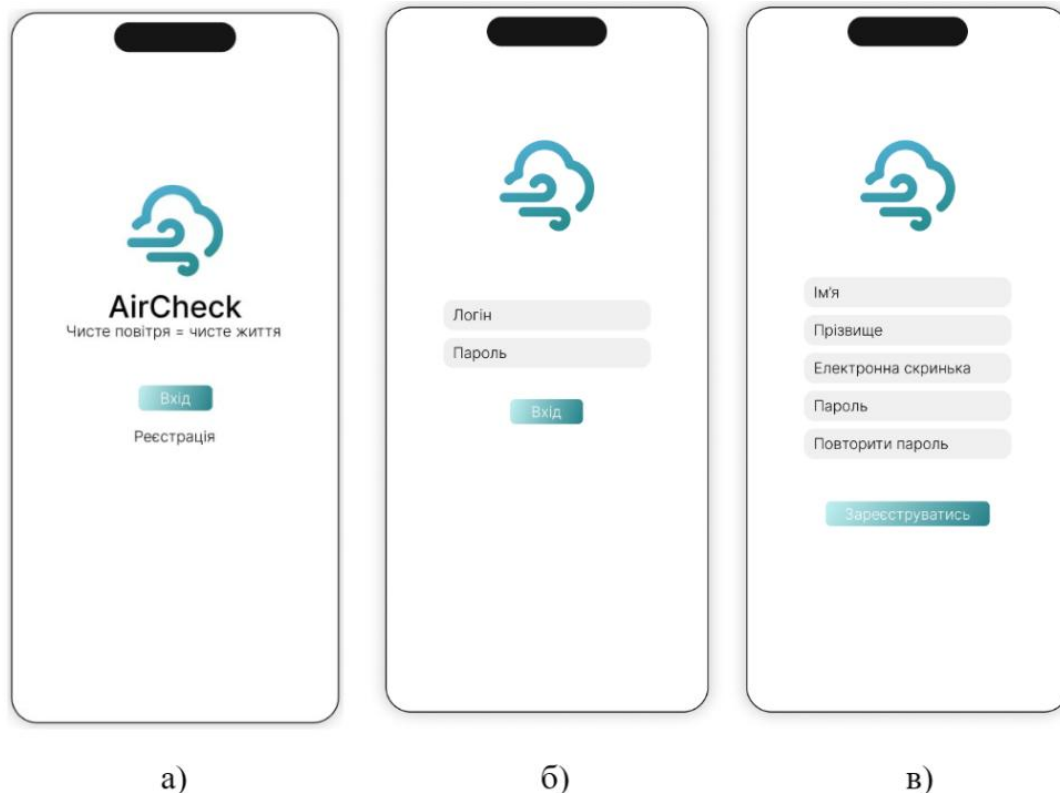
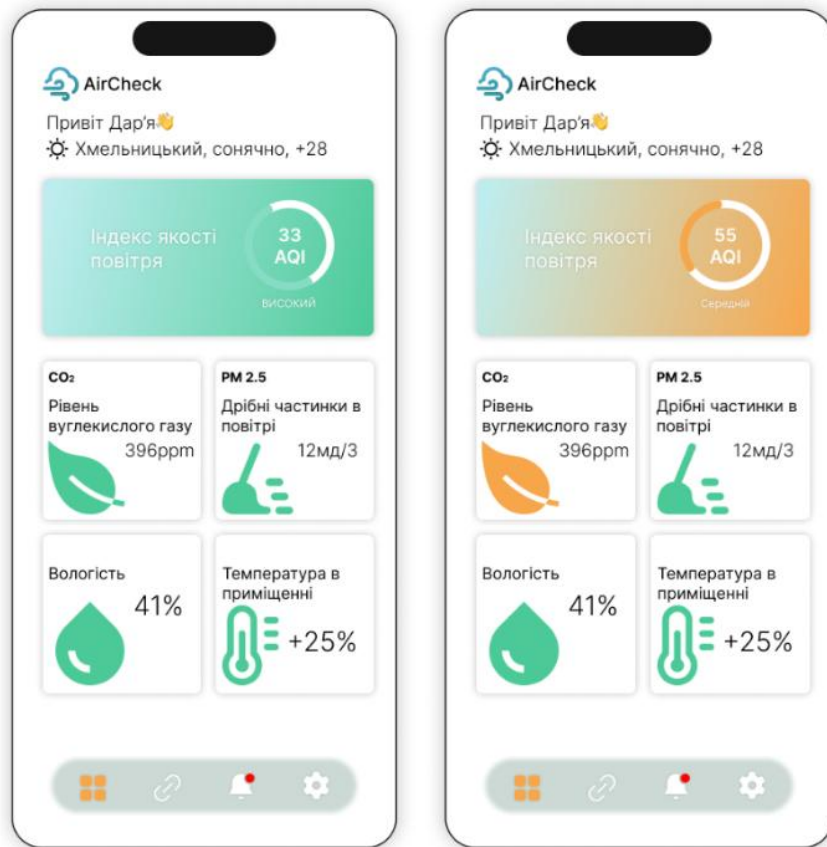


Рисунок 3.4 – Заставка та екран входу до мобільного застосунку «AirCheck»

На рисунку 3.5 представлено головний екран мобільного застосунку «AirCheck» після того, як користувач виконав вхід та авторизувався в системі. На екрані ми бачимо персоналізоване привітання, температуру повітря у місцевості, де знаходиться користувач (при реєстрації застосунок запитує геолокацію користувача та дозвіл на відслідковування користувача за його геолокацією). Також є сповіщення про загальний індекс якості повітря у приміщенні та додаткові індекси, такі як рівень вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>), дрібні частинки в повітрі PM2.5, такі як пил, сажа, дим і тд. Також є окремий показник вологості у повітрі в приміщенні. Це дозволяє врегулювати вологість, коли вона достатньо низька, наприклад, взимку, коли працює обігрівач чи кондиціонер. І ще один показник, який присутній на головному екрані, — це температура повітря у приміщенні. Збереження температури в межах 20–23 °С сприяє комфортному перебуванню в приміщенні та підтримує оптимальні умови для здоров'я.



а)

б)

Рисунок 3.5 – Головний екран мобільного застосунку «AirCheck»

На рисунку 3.5 а) представлено нормальний індекс якості повітря. На рисунку 3.5 б) представлено вигляд головного екрану мобільного застосунку коли індекс якості повітря середній, тобто певні показники, як от рівень вуглекислого газу в повітрі перевищено. Тут система може дати рекомендацію провітрити приміщення, щоб збільшити рівень кисню.

Загалом, розроблений застосунок «AirCheck» поєднує в собі сучасні технології, зручний інтерфейс та практичну функціональність, яка сприяє підвищенню обізнаності користувачів щодо якості повітря, яким вони дихають щодня.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3.3 Висновки

У даному розділі було реалізовано повноцінну систему моніторингу якості повітря, що складається з апаратної частини та мобільного програмного забезпечення, інтегрованих у єдину IoT-архітектуру.

По-перше, була спроектована та зібрана апаратна частина системи, яка включає в себе сенсори для вимірювання основних параметрів якості повітря (таких як рівень CO<sub>2</sub>, PM2.5, температура, вологість), мікроконтролер та модуль бездротового зв'язку. Отримані дані передаються у хмарне сховище або безпосередньо до мобільного пристрою користувача через мережу Wi-Fi або Bluetooth. Особливу увагу було приділено енергоефективності та точності сенсорів, що є критично важливими для постійного моніторингу у реальному часі.

По-друге, було розроблено мобільний застосунок AirCheck з мінімалістичним та інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом. Застосунок дозволяє користувачам у режимі реального часу переглядати поточний стан повітря як з внутрішніх сенсорів, так і з відкритих онлайн-джерел (наприклад, OpenAQ, IQAir API). Реалізовано функціонал автоматичного визначення геолокації, побудови графіків історії забруднення, інтерактивної карти, push-сповіщень, а також підтримки внутрішнього моніторингу за допомогою Bluetooth-сенсорів або ручного введення даних.

Система була протестована як на етапі моделювання окремих компонентів, так і в інтегрованому режимі. Результати тестування підтвердили стабільність роботи програмного забезпечення, коректність передачі даних від сенсорів до мобільного клієнта, а також високу зручність інтерфейсу.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було здійснено повний цикл розробки системи моніторингу якості повітря в приміщенні з використанням технологій Інтернету речей (IoT) — від аналізу існуючих рішень до створення, тестування та інтеграції власного функціонального прототипу.

У першому розділі було проведено глибокий аналіз сучасних систем моніторингу якості повітря, що використовуються в Україні та за кордоном. Розглянуто типові архітектури таких систем, технічні характеристики застосовуваного апаратного забезпечення та способи збору й обробки даних. На основі проведеного аналізу сформульовано вимоги до власної системи, що відповідають актуальним технологічним та екологічним запитам.

Другий розділ було присвячено проектуванню архітектури системи. Визначено оптимальні апаратні компоненти — датчики (наприклад, для вимірювання CO<sub>2</sub>, PM2.5, температури та вологості), мікроконтролери та засоби передачі даних. Сформульовано функційні та нефункційні вимоги до системи, запропоновано архітектурну схему IoT-рішення, що передбачає локальний збір даних, їх передачу на мобільний застосунок та візуалізацію результатів у реальному часі.

У третьому розділі безпосередньо реалізовано апаратну частину проекту, що забезпечує збір даних із сенсорів і передачу їх до мобільного пристрою через бездротові канали зв'язку. Розроблено мобільний застосунок AirCheck із мінімалістичним інтерфейсом, що дозволяє користувачу переглядати показники якості повітря, будувати графіки змін, отримувати сповіщення про перевищення норм та здійснювати ручне введення параметрів. Проведено тестування системи, яке підтвердило її стабільну та ефективну роботу в умовах реального використання.

У результаті виконання роботи було створено комплексне IoT-рішення, яке може бути використане для постійного моніторингу якості повітря в житлових, освітніх або офісних приміщеннях. Запропонована система вирізняється гнучкою

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

архітектурою, масштабованістю, доступністю апаратного забезпечення, а також зручністю для кінцевого користувача. Результати дипломної роботи можуть бути застосовані в екологічних дослідженнях, проєктах «розумного дому» та освітніх ініціативах, що сприяють підвищенню екологічної свідомості населення.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Павелко О., Куликовська Н., Тіменко А. Автоматизована система моніторингу якості повітря. *Modeling, Control and Information Technologies*, 2023. № 6. pp. 238–241.

2. Гемський Д. В. Система контролю кліматичних показників в приміщеннях багатоквартирного будинку на базі ІОТ : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 122 – комп'ютерні науки / наук. кер. Я. В. Литвиненко. Тернопіль : *Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*, 2024. 92 с.

3. Хоменко І. С. Застосування технологій Інтернету речей для управління показниками середовища в приміщеннях : пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 122 Комп'ютерні науки / І. С. Хоменко ; *М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків*, 2024. 89 с.

4. Богдан Г. А., Глущенко М. О. Загальні тенденції побудови автоматизованих систем моніторингу якості повітря на промислових підприємствах. *Вчені записки*, 2023. № 4 (34). pp. 12–17.

5. Демчишин В. В. Система прогнозування концентрації CO<sub>2</sub> за допомогою ІоТ для моніторингу якості повітря в приміщеннях = CO<sub>2</sub> concentration forecasting system using IoT for indoor air quality monitoring : дипломний проєкт : спец. 122 – комп'ютерні науки освітньо-професійна програма – комп'ютерні науки / Владислав Володимирович Демчишин ; наук. кер. І. В. Турченко. Тернопіль : *ЗУНУ*, 2023. 56 с.

6. Серета М. О. Сенсорна ІоТ-мережа для моніторингу якості повітря : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» : спец. 123 «Комп'ютерна інженерія» / М. О. Серета ; ЧНУ ім. Петра Могили. Миколаїв, 2023. 97 с.

7. Нищета В. Є. Розроблення системи інтелектуального керування кондиціонуванням виробничого приміщення з використанням технології ІоТ : пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В. Є. Нищета ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2024. 102 с.

8. Ониськів Р. Б. IoT система моніторингу та аналізу інформації про наявність людей в приміщенні : кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія / Ониськів Роман Богданович. Тернопіль : ТНТУ, 2023. 60 с.

9. Megahed N. A., Ghoneim E. M. Indoor Air Quality: Rethinking rules of building design strategies in post-pandemic architecture. *Environmental Research*, 2021. № 193. pp. 110471.

10. Asha P., Natrayan L. B. T. J. R. R. G. S., Geetha B. T., Beulah J. R., Sumathy R., Varalakshmi G., Neelakandan S. IoT enabled environmental toxicology for air pollution monitoring using AI techniques. *Environmental Research*, 2022. № 205. pp. 112574.

11. Mata T. M., Martins A. A., Calheiros C. S., Villanueva F., Alonso-Cuevilla N. P., Gabriel M. F., Silva G. V. Indoor air quality: a review of cleaning technologies. *Environments*, 2022. № 9(9). pp. 118.

12. González-Martín J., Kraakman N. J. R., Pérez C., Lebrero R., Muñoz R. A state-of-the-art review on indoor air pollution and strategies for indoor air pollution control. *Chemosphere*, 2021. № 262. pp. 128376.

13. Mannan M., Al-Ghamdi S. G. Indoor air quality in buildings: a comprehensive review on the factors influencing air pollution in residential and commercial structures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021. № 18(6). pp. 3276.

14. Kong M., Dong B., Zhang R., O'Neill Z. HVAC energy savings, thermal comfort and air quality for occupant-centric control through a side-by-side experimental study. *Applied Energy*, 2022. № 306. pp. 117987.

15. Franek O., Jarský Č. On implementation of plants in the indoor environment in intelligent buildings. *Environmental Research, Engineering and Management*, 2021. № 77(3). pp. 66–73.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

16. Zivelonghi A., Giuseppi A. Smart Healthy Schools: An IoT-enabled concept for multi-room dynamic air quality control. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 2024. № 4. pp. 24–31.

17. Janaki K., Eapen M., Meera M. M., Bhendale M. A., Arun S., Krishnamoorthy R. Enhancing Environmental Safety: Design and Development of IoT based Air Quality Monitoring System. *2024 5th International Conference on Image Processing and Capsule Networks (ICIPCN)*, 2024. pp. 845–850.

18. Aguado A., Rodríguez-Sufuentes S., Verdugo F., Rodríguez-López A., Figols M., Dalheimer J., Feroso J. Verification and Usability of Indoor Air Quality Monitoring Tools in the Framework of Health-Related Studies. *Air*, 2025. № 3(1). pp. 3.

19. Gololo M. G. D., Nyathi C. W., Boateng L., Nkadimeng E. K., Mckenzie R. P., Atif I., Mellado B. Review of IoT Systems for Air Quality Measurements Based on LTE/4G and LoRa Communications. *IoT*, 2024. № 5(4). pp. 711–729.

20. Yu G., Zhang G., Poslad S., Fan Y., Xu X. A study of quantifying the influence of kitchen human activity on indoor air quality dynamics. *Environmental Pollution*, 2024. № 362. pp. 124900.

21. Reddy P. H. V., Hussain S. M., Reddy R. S., Vinay R. Iot based Indoor Environment Monitoring and Controlling with Plant care. *2024 IEEE 5th India Council International Subsections Conference (INDISCON)*, 2024. pp. 1–5.

22. Nazli S. N., Vilcins D., Sly P. D., Razak A. A., Sabri N., Ibrahim T. N. B. T. Indoor Air Quality: Bibliometric Analysis of the Published Literature Between 2018 and 2023. *Environmental Quality Management*, 2024. № 34(1). pp. e22297.

23. Ackley A., Olanrewaju O. I., Oyefusi O. N., Enegbuma W. I., Olaoye T. S., Ehimatie A. E., Akpan-Idiok P. Indoor environmental quality (IEQ) in healthcare facilities: A systematic literature review and gap analysis. *Journal of Building Engineering*, 2024. pp. 108787.

24. Shen X., Sun Q., Mosey G., Ma J., Wang L., Ge M. Benchmark of plant-based VOCs control effect for indoor air quality: Green wall case in smith campus at Harvard University. *Science of The Total Environment*, 2024. № 906. pp. 166269.

25. Li C., Xia Y., Wang L. Household unclean fuel use, indoor pollution and self-rated health: risk assessment of environmental pollution caused by energy poverty from a

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 61
Зм.	Арк.	№ доквм.	Підпис	Дата		

public health perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 2024. № 31(12). pp. 18030–18053.

26. Wan E., Zhang Q., Li L., Xie Q., Li X., Liu Y. The online in situ detection of indoor air pollution via laser induced breakdown spectroscopy and single particle aerosol mass spectrometer technology. *Optics and Lasers in Engineering*, 2024. № 174. pp. 107974.

27. Akomolafe O. O., Olorunsogo T., Anyanwu E. C., Osasona F., Ogunua J. O., Daraojimba O. H. Air quality and public health: a review of urban pollution sources and mitigation measures. *Engineering Science & Technology Journal*, 2024. № 5(2). pp. 259–271.

28. Ansari M., Alam M. An intelligent IoT-cloud-based air pollution forecasting model using univariate time-series analysis. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 2024. № 49(3). pp. 3135–3162.

29. Плата розробника ESP-WROOM-32 ESP32 30 Pin (Wi-Fi + Bluetooth) URL: <https://ardushop.in.ua/arduino/developer-board-esp-wroom-32-esp-32-wi-fi-bluetooth> (Дата звернення: 20.02.2025).

30. Барометр BMP-280 3V (GY-BM) URL: <https://uamper.com/%D0%91%D0%B0%D1%80%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80-BMP-280> (Дата звернення: 05.03.2025).

31. DHT22 Temperature & Humidity Sensor URL: <https://www.voltaat.com/products/dht22-temperature-humidity-sensor> (Дата звернення: 05.03.2025).

32. 004-0-0017 Senseair URL: <https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/004-0-0017.html> (Дата звернення: 07.03.2025).

33. GY-SGP30 Gas Sensor Air Quality TVOC ECO2 Carbon Dioxide CO2 IIC I2C 3.3V 5V SGP30 Measurement Detector Formaldehyde Module NEW URL: <https://www.aliexpress.com/item/1005004410104058.html> (Дата звернення 07.03.2025).

34. 2pcs/1pc MICS-6814 Nitrogen Carbon Gas Sensor Air Quality CO NO2 NH3 TGS2600 CCS811 BME680 Temperature Humidity Height Detection URL: <https://www.aliexpress.com/item/32950780030.html> (Дата звернення 07.03.2025).

35. Laser PM2.5 Air Quality Sen Sensor Digital Output In-built Fan UART. URL: <https://evelta.com/sds011-laser-pm2-5-sensor/> (Дата звернення 21.03.2025).
36. PMS5003 PM2.5 PM10 Air Quality Sensor. URL: <https://www.amazon.com/whiteeeen-PMS5003-Quality-Sensor-Breakout/dp/B09BQZP2CY> (Дата звернення 21.03.2025).
37. Waveshare MQ-135 Давач газу. URL: <https://evo.net.ua/waveshare-mq-135-datchik-gaza-9528/> (Дата звернення 21.03.2025).
38. MICS-6814 AMPHENOL SGX SENSORTECH. URL: [https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/mics-6814\\_163726.html](https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/mics-6814_163726.html) (Дата звернення 21.03.2025).
39. Ong A. K. S., Prasetyo Y. T., Kusonwattana P., Mariñas K. A., Yuduang N., Chuenyindee T., Robas K. P. E., Persada S. F., Nadlifatin R. Determining factors affecting the perceived usability of air pollution detection mobile application “AirVisual” in Thailand: A structural equation model forest classifier approach. *Heliyon*, 2022. e12538.
40. Ko K., Cho S., Rao R. R. Performance Evaluation of Low-cost PurpleAir Sensors in Ambient Air. In: *2020 IEEE 7th International Conference on Data Science and Advanced Analytics (DSAA)*. IEEE, 2020.
41. Jaffe D. A., Miller C., Thompson K., Finley B., Nelson M., Ouimette J., Andrews E. An evaluation of the U.S. EPA's correction equation for PurpleAir sensor data in smoke, dust, and wintertime urban pollution events. *Atmospheric Measurement Techniques*, 2023. 16(5). pp. 1311–1322.
42. Farooqui Z., Biswas J., Saha J. Long-Term Assessment of PurpleAir Low-Cost Sensor for PM2.5 in California, USA. *Pollutants*, 2023. 3(4). pp. 477–493.
43. IQAir AirVisual Pro, 2024. URL: <https://www.iqair.com/products/air-quality-monitors/airvisual-pro-indoor-monitor>
44. Zamora M. L., Rice J., Koehler K. One year evaluation of three low-cost PM2.5 monitors. *Atmospheric Environment*, 2020. 235. pp. 117615.

					КВРКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

45. Patwardhan I., Sara S., Chaudhari S. Comparative Evaluation of New Low-Cost Particulate Matter Sensors. In: *2021 8th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*. IEEE, 2021.

46. Khreis H., Johnson J., Jack K., Dadashova B., Park E. S. Evaluating the Performance of Low-Cost Air Quality Monitors in Dallas, Texas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022. 19(3). pp. 1647.

47. Moreno-Rangel A., Sharpe T., Musau F., McGill G. Field evaluation of a low-cost indoor air quality monitor to quantify exposure to pollutants in residential environments. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 2018. 7(1). pp. 373–388.

48. Dye T. S., Chan A. C., Anderson C. B., Strohm D. E., Wayland R. A., White J. E. From raw air quality data to the nightly news: An overview of how EPA's AIRNow program operates. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2014. pp. 6597–6601.

49. Cespedes F. V., Allison M. C., Margot E. BreezoMeter: Making Air Pollution Data Actionable. *Harvard Business School Case*, 2018. 819-058.

50. Korber R. BreezoMeter vs. Government Air Quality Data: 5 Things to Know, 2016. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/breezometer-vs-government-air-quality-data-5-things-know-ran-korber/>

51. Zheng H., Krishnan V., Walker S., Loomans M., Zeiler W. Laboratory evaluation of low-cost air quality monitors and single sensors for monitoring typical indoor emission events in Dutch daycare centers. *Environment International*, 2022. 166. pp. 107372.

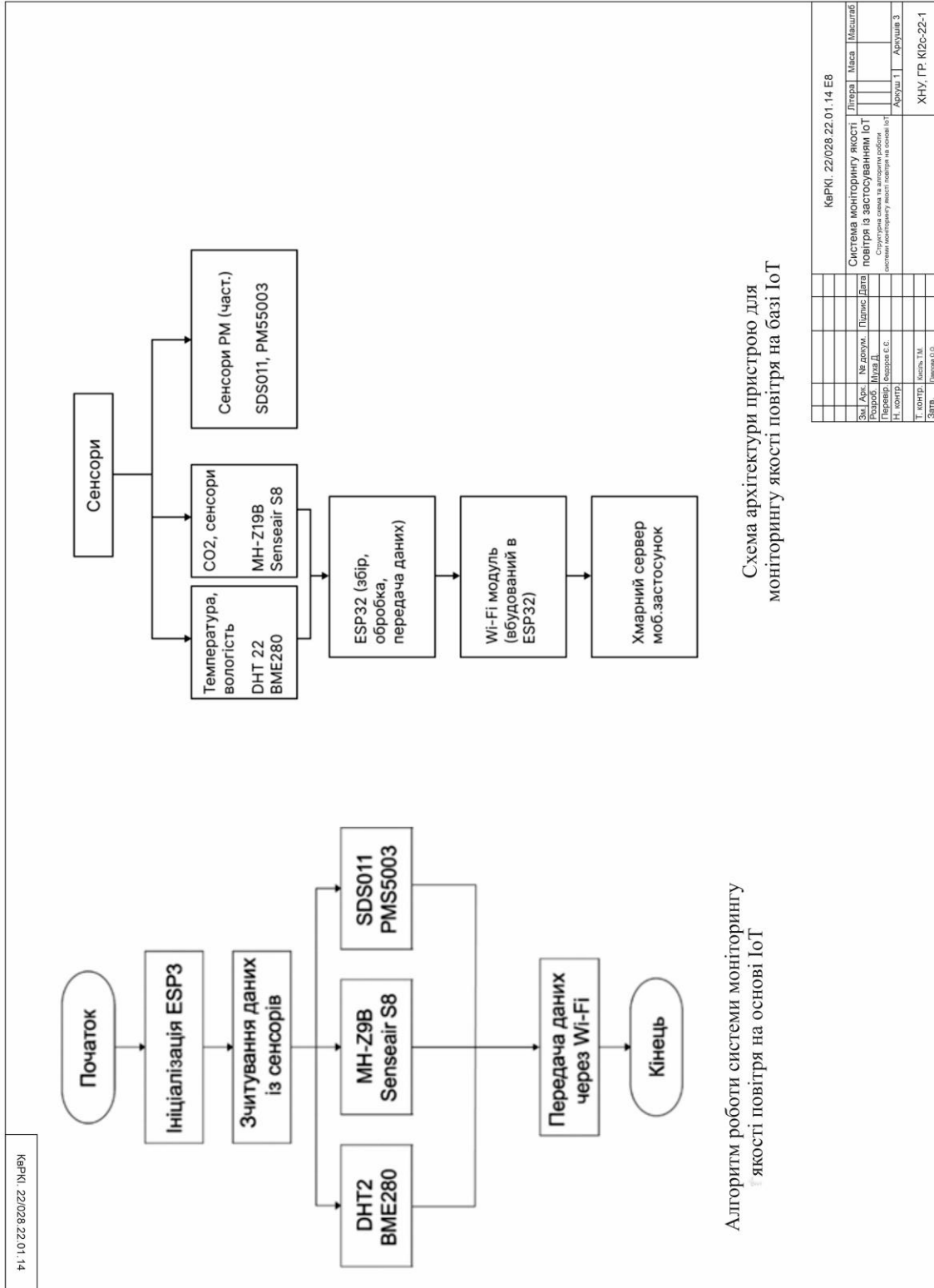
52. Novorushchenko T., Bachuk V., Sevostyanov V., Martsenyuk A., El Bouhissi H. Microcontroller system for air quality monitoring. *CEUR Workshop Proceedings*, 2023. Vol. 3896. pp. 540–553.

53. Нефункціональні вимоги: приклади, типи, підходи. URL: <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/non-functional-requirements-examples-types-approaches/> (дата звернення 07.06.2025)

					КВПКІ. 022028.22.01.11 ПЗ	Арк. 64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Додаток А**  
(обов'язковий)

**КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СТРУКТУРНА СХЕМА ТА АЛГОРИТМ РОБОТИ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ІОТ»**





## Додаток В (обов'язковий)

# КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ НА ОСНОВІ ІОТ У ВИГЛЯДІ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ»

КвРКІ. 22/028.22.01.14

а)

б)

в)

б)

а)

Заставка та екран входу до мобільного застосунку «AirCheck»

Головний екран мобільного застосунку «AirCheck»

КвРКІ. 22/028.22.01.14 ЕБ									
Система моніторингу якості повітря із застосуванням ІОТ									
Програма реалізація системи на основі ІОТ у вигляді мобільного застосунку									
Зам. Арх.	№ доум.	Підпис	Дата	Літера	Масштаб				
Підпис	Місце Д.								
Підпис	Сторінка С.С.								
Н. Копр.					Аркул 1		Аркул 3		
Т. Копр.	Місце Т.М.					ХНУ ГР. КІЗС-22-1			
Затв.	Резерв О.О.								

**Додаток Г**  
**(обов'язковий)**

**ЛИСТИНГ ПРОГРАМНОГО КОДУ**

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "Your_Temp_ID"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "Air Quality Monitoring"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "Your_Auth-Token"

#define BLYNK_PRINT Serial
#include <WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

#include <DHT.h>

//#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

byte degree_symbol[8] =
{
0b00111,
0b00101,
0b00111,
0b00000,
0b00000,
0b00000,
0b00000,
0b00000
};

char auth[] = BLYNK_AUTH_TOKEN;

char ssid[] = "WiFi Username"; // type your wifi name
```

```

char pass[] = "WiFi Password"; // type your wifi password

BlynkTimer timer;

#define gas A0
int sensorThreshold = 100;

#define DHTPIN D2 //Connect Out pin to D2 in NODE MCU
#define DHTTYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void sendSensor()
{

float h = dht.readHumidity();
float t = dht.readTemperature(); // or dht.readTemperature(true)
for Fahrenheit

if (isnan(h) || isnan(t)) {
Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
return;
}
int analogSensor = analogRead(gas);
Blynk.virtualWrite(V2, analogSensor);
Serial.print("Gas Value: ");
Serial.println(analogSensor);
// You can send any value at any time.
// Please don't send more that 10 values per second.
Blynk.virtualWrite(V0, t);
Blynk.virtualWrite(V1, h);

Serial.print("Temperature : ");

```

```

Serial.print(t);
Serial.print(" Humidity : ");
Serial.println(h);

}

void setup()
{

Serial.begin(115200);

//pinMode(gas, INPUT);
Blynk.begin(auth, ssid, pass);
dht.begin();
timer.setInterval(30000L, sendSensor);

//Wire.begin();
lcd.begin();

// lcd.backlight();
// lcd.clear();
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print("Air Quality");
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print("Monitoring");
delay(2000);
lcd.clear();
}

void loop()
{
Blynk.run();
timer.run();
float h = dht.readHumidity();

```

```

float t = dht.readTemperature(); // or dht.readTemperature(true)
for Fahrenheit
int gasValue = analogRead(gas);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Temperature ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(t);
lcd.setCursor(6,1);
lcd.write(1);
lcd.createChar(1, degree_symbol);
lcd.setCursor(7,1);
lcd.print("C");
delay(4000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Humidity ");
lcd.print(h);
lcd.print("%");
delay(4000);
lcd.clear();
//lcd.setCursor(0,0);
// lcd.print(gasValue);
// lcd.clear();
Serial.println("Gas Value");
Serial.println(gasValue);
if(gasValue<1200)
{
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Gas Value: ");
lcd.print(gasValue);
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Fresh Air");
Serial.println("Fresh Air");
delay(4000);
lcd.clear();

```

```
    }
    else if(gasValue>1200)
    {
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print(gasValue);
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Bad Air");
        Serial.println("Bad Air");
        delay(4000);
        lcd.clear();
    }

    if(gasValue > 1200){
        //Blynk.email("shameer50@gmail.com", "Alert", "Bad Air!");
        Blynk.logEvent("pollution_alert","Bad Air");
    }
}
```

Завідувачу кафедри КПС  
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ

Дар'ї МУХИ

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2с-22-1

### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений(а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

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

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

12.06 2025 року



**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

Автор: Дар'я МУХА

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Євген ФЕДОРОВ, д.т.н, професор

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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

- 1) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;
- 2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 8.7% і адресується до 401 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 2%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

Завідувач кафедри КІС

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Євген ФЕДОРОВ

Андрій Нічепорук

Ольга ПАВЛОВА

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Муха Дар'я Миколаївна

Тема: Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 55

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.
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 (проаналізовано існуючі системи моніторингу якості повітря) та виконано постановку задачі дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено вибір компонентів та апаратно-програмне середовище для виконання завдання. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано апаратну та програмну реалізацію системи моніторингу якості повітря в приміщенні на основі IoT.
4. Позитивні сторони роботи: достатня увага приділена деталізації системи та взаємодії компонентів.
5. Негативні сторони роботи:
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 достатньому технічному рівні.
8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_
9. Оцінка дипломної роботи: задовільно

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

Мартинович Валерій Володимирович  
зав. каф. АІТІТ, Р, ХНУ

«10» 06 2025 р.

(підпис)

Об'єкт кваліфікаційної роботи: \_\_\_\_\_  
Кількість листів креслення: \_\_\_\_\_  
Кількість сторінок записки: \_\_\_\_\_

1. Короткий зміст роботи та прийняті рішення: Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT.

2. Висновок про відповідність роботи вимогам завдання: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і методів роботи: В першому розділі кваліфікаційної роботи проведено дослідження предметної області (проаналізовано існуючі системи моніторингу якості повітря) та виконано постановку завдання дослідження. В другому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз компонентів та апаратно-програмне середовище для виконання завдання. В третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано аналіз вартості та програмну реалізацію системи моніторингу якості повітря в приміщенні на основі IoT.

4. Позитивні сторони роботи: досягнута увага приділена системній та взаємодії компонентів.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка гравірного оформлення та повноти оформлення роботи: Послідовна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документів.

7. Відлік про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому технічному рівні.

8. Інші зауваження:

9. Оцінка відповідності роботи завданню:

## 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:** Дар'я МУХА

**Співавтор:**

**Назва:** Муха\_Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT

**Експерт:**

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

**Коефіцієнт подібності 1:** 8.7%

**Коефіцієнт подібності 2:** 4.2%

**Мікропробіли:** 10

**Заміна букв:** 1

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2025-06-09 17:24:45.0

**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:**

2025-06-09



Доцент Андрій Нічепорук

# Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionaries check: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Errors in the documents: 11%

ID: 244291 Title: БКР Система моніторингу якості повітря в приміщенні із застосуванням IoT Added in a DB: 2025-06-09 Authors: Дар'я МУХА Heads: Євген ФЕДОРОВ Consultants: Opponents:	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
	82425	625	3517 (4%)	33 (5%)

## Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes