

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Звізда Олексій Михайлович

УДК 004.42

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Цифрова система збору параметрів повітря за допомогою Raspberry Pi для опрацювання в Cloud-сервісі

Комп'ютерна інженерія

(назва освітньої програми)

123 - Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ Звізда О. М.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Топалов А.М., к.т.н., доцент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри КСМ

д.т.н., професор _____ С.І. Мельничук
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2025 рік

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Інститут Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерних систем і мереж

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

Спеціальність 123 – Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою КСМ

С.І. Мельничук

«05» травня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Звізди Олексія Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Цифрова система збору параметрів повітря за допомогою Raspberry Pi для опрацювання в Cloud-сервісі

керівник проекту (роботи) Топалов А.М., к.т.н., доцент

затверджені наказом вищого навчального закладу від 05.05.2025 № 275/7

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Методичні вказівки, технічна література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Принципи і концепти розробки систем збору параметрів повітря 2. Архітектура та основні елементи системи збору параметрів повітря на базі raspberry pi 3. Програмування системи збору параметрів повітря

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

6. Консультанти розділів роботи

7. Дата видачі завдання 29січня 2025р.

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Постановка задачі та обґрунтування необхідності розробки системи збору параметрів повітря за допомогою Raspberry Pi для опрацювання в Cloud-сервісі</i>	<i>Лютий 2025р</i>	
2	<i>Принципи і концепти розробки систем збору параметрів повітря</i>	<i>Березень 2025р</i>	
3	<i>Архітектура та основні елементи системи збору параметрів повітря на базі raspberry pi</i>	<i>Квітень 2025р</i>	
4	<i>Програмування системи збору параметрів повітря</i>	<i>Травень 2025р</i>	
5	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>Червень 2025р</i>	

Студент _____
(підпис)

Звізда О.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

Топалов А.М.

:

АНОТАЦІЯ

У даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто процес створення та реалізації інформаційної системи для моніторингу показників якості атмосферного повітря з використанням платформи Raspberry Pi та технологій Інтернету речей.

Основна мета дослідження полягає у розробці автоматизованої системи збору й обробки екологічних даних, що характеризують стан повітря, із подальшою передачею інформації користувачеві в зручному візуальному форматі.

Структурно робота охоплює вступ, три змістові розділи, у яких розкриваються теоретичні засади, технічна побудова системи та результати практичної реалізації. У вступній частині аргументовано важливість тематики повітряного моніторингу, визначено мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження.

Перший розділ присвячено аналізу поточного стану екологічного моніторингу повітря, опису основних фізико-хімічних параметрів, що оцінюють його якість, а також загальним принципам реалізації IoT-рішень у подібних системах.

У другому розділі окреслено архітектуру запропонованої системи, подано опис функціональної та алгоритмічної побудови, обґрунтовано вибір програмних і апаратних засобів.

У третьому розділі наведено практичні аспекти впровадження системи: організацію збору даних, розгортання веб-сервера та створення інтерфейсу для користувача з можливістю перегляду показників у реальному часі.

Ключові слова: атмосферне повітря, моніторинг, одноплатний комп'ютер, Raspberry Pi, сенсорні модулі, Інтернет речей, веб-інтерфейс.

ABSTRACT

This bachelor's qualification work considers the process of creating and implementing an information system for monitoring atmospheric air quality indicators using the Raspberry Pi platform and Internet of Things technologies.

The main goal of the research is to develop an automated system for collecting and processing environmental data that characterize the state of the air, with the subsequent transfer of information to the user in a convenient visual format.

Structurally, the work includes an introduction, three substantive sections, which reveal the theoretical foundations, technical structure of the system and the results of practical implementation. The introductory part argues for the importance of the topic of air monitoring, defines the goal, objectives, object and subject of the study.

The first section is devoted to an analysis of the current state of environmental air monitoring, a description of the main physicochemical parameters that assess its quality, as well as the general principles of implementing IoT solutions in such systems.

The second section outlines the architecture of the proposed system, provides a description of the functional and algorithmic structure, and justifies the choice of software and hardware.

The third section presents practical aspects of system implementation: data collection organization, web server deployment, and user interface creation with real-time data viewing capabilities.

Keywords: ambient air, monitoring, single-board computer, Raspberry Pi, sensor modules, Internet of Things, web interface.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ПРИНЦИПИ І КОНЦЕПТИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ	6
1.1 Основні екологічні параметри повітря	6
1.2 Особливості застосування технології Інтернету речей при побудові інформаційних систем збору даних	12
1.3 Аналіз технічних рішень системи збору параметрів повітря	29
1.4 Постановка завдань дослідження	34
2 АРХІТЕКТУРА ТА ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ НА БАЗІ RASPBERRY PI	36
2.1 Розроблення функціональної схеми системи збору параметрів повітря	36
2.2 Складові частини функціональної схеми системи збору параметрів повітря	40
2.3 Алгоритмічна модель роботи системи збору параметрів повітря	48
3 ПРОГРАМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ	53
3.1 Використані програмні бібліотеки та мова програмування для реалізації системи збору параметрів повітря	53
3.2 Розробка компонентів веб платформи системи збору параметрів повітря	57
3.3 Розробка бази даних для інформаційної системи збору параметрів повітря	62
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	68
Бібліографічна довідка	

					БР.КІ-10.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Цифрова система збору параметрів повітря за допомогою Raspberry Pi для опрацювання в Cloud-сервісі	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Звізда О.М.					3	
Перевір.		Топалов А.М.				ІФНТУНГ, КІ-21-2		
Реценз.		Бабчук С.М.						
Н. Контр.		Лазорів А.М.						
Затверд.		Мельничук С.І.						

ВСТУП

Актуальність. У сучасних умовах стрімкого розвитку цифрових технологій особливого значення набуває концепція обчислювальної мережі фізичних об'єктів, оснащених вбудованими засобами для взаємодії як між собою, так і з навколишнім середовищем. Ця концепція активно впроваджується у різні сфери суспільного життя, сприяючи суттєвій трансформації механізмів управління та організації процесів у соціально-економічних системах.

Однією з провідних технологій сучасності є Інтернет речей (IoT), що являє собою інфраструктуру, сформовану з фізичних пристроїв, сенсорів, контролерів та інших елементів, об'єднаних у єдину мережу для обміну даними та взаємодії з навколишнім середовищем. У загальному випадку IoT включає в себе сукупність гетерогенних пристроїв, які об'єднуються за допомогою різноманітних каналів зв'язку й використовують широкий спектр протоколів для внутрішньої взаємодії. Доступ до глобальної мережі, як правило, забезпечується через Інтернет із застосуванням стандартного мережевого протоколу TCP/IP.

Однією з важливих сфер застосування IoT є екологічний моніторинг, зокрема контроль параметрів якості води або повітря. У цьому контексті система датчиків виконує функцію безперервного збору та передачі даних на централізований сервер, де відбувається подальший аналіз інформації з метою оперативного реагування та прийняття управлінських рішень.

Об'єкт дослідження – система моніторингу параметрів якості повітря.

Предмет дослідження – процес організації контролю параметрів якості повітря за допомогою Raspberry Pi.

Мета роботи – розробка інформаційної системи моніторингу параметрів повітря на платформі Raspberry Pi з використанням технології Інтернету речей.

Основні задачі дослідження – застосування графічних методів, об'єктно-орієнтованого проектування та програмування, а також дослідження функціонування комп'ютерної системи моніторингу.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ПРИНЦИПИ І КОНЦЕПТИ РОЗРОБКИ СИСТЕМ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ

1.1 Основні екологічні параметри повітря

Якість атмосферного повітря (властивості і склад, у цілому стан) задається показниками. Показники якості повітря можна поділити за призначенням на основні (нормовані) та додаткові (індикативні), а також за характером впливу – на фізичні, хімічні, біологічні та радіаційні.

1.1.1 За призначенням

Основні (нормовані) показники офіційно встановлені державними або міжнародними стандартами показники, що мають гранично допустимі концентрації (ГДК). Вони критично впливають на здоров'я людини та є обов'язковими для постійного моніторингу.

Діоксид азоту (NO_2) – один із головних індикаторів забруднення в містах, джерелом є транспорт і промисловість.

Озон (O_3) – забруднювач вторинного походження, утворюється внаслідок фотохімічних реакцій.

Частинки пилу PM_{10} та $\text{PM}_{2.5}$ – тверді і рідкі аерозолі, які можуть проникати в легені та викликати серцево-судинні та респіраторні захворювання.

Діоксид сірки (SO_2) – переважно викидається при спалюванні вугілля і мазуту.

Оксид вуглецю (CO) – продукт неповного згоряння пального.

Бензол, формальдегід та інші ЛОС (леткі органічні сполуки) – мають токсичну або канцерогенну дію.

Сажі, важкі метали (свинець, кадмій, ртуть) – характерні для промислових районів [1].

Додаткові (індикативні) параметри не мають жорсткої нормованої межі, але враховуються для загальної оцінки повітря, поведінки забруднювачів та

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

метеоумов. Це температура, вологість, тиск, швидкість вітру, концентрація пилку, біоаерозолів.

1.1.2 За фізико-хімічною природою

Фізичні визначають фізичні умови атмосфери, що впливають на поширення і концентрацію забруднювачів. Фізичні показники якості повітря визначають умови атмосфери, які впливають на поширення, накопичення та розсіювання забруднюючих речовин:

- температура повітря;
- вологість;
- атмосферний тиск;
- швидкість і напрямок вітру;
- радіаційне випромінювання.

Одним з ключових фізичних параметрів є температура повітря. Вона впливає на інтенсивність фотохімічних реакцій, зокрема на утворення озону у тропосфері. У періоди високих температур, особливо влітку, це може призводити до підвищеного рівня озону, що негативно впливає на здоров'я людей. Крім того, за умов температурної інверсії (коли з висотою температура зростає) забруднення накопичуються у приземному шарі атмосфери.

Вологість також має значення, оскільки за високої вологості забруднювачі можуть конденсуватися у вигляді кислотних туманів або прикріплюватися до частинок аерозолі, що підвищує їхню стабільність у повітрі та тривалість перебування в атмосфері. Атмосферний тиск впливає на вертикальне переміщення повітря: за високого тиску повітря стає стійким, і забруднювачі залишаються у нижніх шарах атмосфери, а за низького тиску – циклональні процеси сприяють очищенню повітря та зменшенню концентрації шкідливих речовин.

Швидкість і напрямок вітру безпосередньо впливають на просторове розповсюдження забруднень. Сильний вітер сприяє їх швидкому розсіюванню та перенесенню, тоді як штиль або слабкий вітер можуть призводити до

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

локального накопичення шкідливих домішок, особливо в урбанізованих зонах [2].

Радіаційне випромінювання або сонячна інсоляція стимулює фотохімічні процеси в атмосфері, що особливо важливо для формування вторинних забруднювачів, як-от тропосферного озону. Чим інтенсивніше сонячне світло, тим активніше утворюються подібні сполуки. Таким чином, фізичні показники створюють умови, за яких хімічні та біологічні забруднювачі можуть бути або посилені, або зменшені, тому їх облік є обов'язковим у системах моніторингу якості повітря [3].

Хімічні показники якості повітря характеризують склад атмосфери та наявність у ній шкідливих речовин, які можуть становити загрозу для здоров'я людей, довкілля та інфраструктури. Ці показники є основними об'єктами моніторингу, оскільки саме концентрація хімічних забруднювачів найчастіше використовується для розрахунку індексу якості повітря (AQI) та визначення рівня загрози для населення.

Основні приклади:

- NO₂ (діоксид азоту): маркер забруднення транспорту та промисловості.
- O₃ (озон): утворюється внаслідок фотохімічних реакцій із оксидами азоту та ЛОС.
- SO₂ (діоксид сірки): викликає кислотні дощі, подразнення слизових.
- CO (чадний газ): небезпечний, бо блокує транспорт кисню кров'ю.
- PM_{2.5} / PM₁₀: частинки, що проникають у дихальні шляхи.
- Леткі органічні сполуки (ЛОС) – бензол, формальдегід: можуть бути канцерогенними.
- Тяжкі метали – свинець, ртуть, кадмій: небезпечні при накопиченні.

Одним з головних хімічних забруднювачів є діоксид азоту (NO₂). Він утворюється переважно внаслідок згоряння пального в транспорті та на промислових підприємствах. NO₂ подразнює слизові оболонки, посилює симптоми астми та підвищує ризик розвитку захворювань органів дихання. Озон (O₃) у тропосфері є вторинним забруднювачем, який виникає внаслідок

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

фотохімічних реакцій між оксидами азоту та леткими органічними сполуками (ЛОС) під дією сонячного світла. Хоча озон у стратосфері захищає від ультрафіолетового випромінювання, у приземному шарі він є шкідливим для легень і викликає подразнення дихальних шляхів [4].

Діоксид сірки (SO_2) викидається в атмосферу при спалюванні вугілля та мазуту, особливо на ТЕС та в металургії. Він є основним чинником утворення кислотних дощів і може викликати подразнення очей, горла, а також погіршення стану людей з хронічними хворобами легень. Оксид вуглецю (CO), або чадний газ, є дуже небезпечним забруднювачем. Він блокує гемоглобін у крові, перешкоджаючи перенесенню кисню до органів. Навіть у малих концентраціях він є отруйним і може викликати головний біль, запаморочення, втрату свідомості.

Пилові частинки є сумішшю твердих і рідких аерозолів, які можуть проникати глибоко в дихальні шляхи. Частинки $\text{PM}_{2.5}$ особливо небезпечні, оскільки доходять до альвеол легень і потрапляють у кров, підвищуючи ризик інфарктів, інсультів, онкологічних захворювань і респіраторних проблем.

Леткі органічні сполуки (ЛОС), такі як бензол і формальдегід, є характерними для вихлопних газів, розчинників і промислових викидів. Деякі з них мають канцерогенну дію, особливо при довготривалому впливі.

Тяжкі метали, зокрема свинець, ртуть і кадмій, накопичуються в організмах людей і тварин, впливаючи на нервову систему, нирки, печінку, репродуктивну функцію. Їхній вміст у повітрі контролюється через тривалий період розпаду та здатність до біоаккумуляції. Таким чином, хімічні забруднювачі мають як короткостроковий, так і довгостроковий вплив на здоров'я населення, і тому є ключовим елементом у побудові систем моніторингу якості повітря [5].

Біологічні показують наявність біологічних агентів, які можуть викликати алергії або інфекційні захворювання. Ці показники мають особливе значення в умовах зростання захворюваності на алергії, астму та респіраторні інфекції. Одним із найпоширеніших біологічних забруднювачів є пилок рослин. Його

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

концентрація в повітрі змінюється залежно від сезону та рослинності регіону. Пилок здатен викликати сильні алергічні реакції – поліноз, що супроводжується чханням, закладеністю носа, сльозотечею, свербінням очей, а також може сприяти загостренню бронхіальної астми. Іншою категорією біозабруднювачів є спори грибів, зокрема пліснявих, які присутні в повітрі як на відкритому повітрі, так і в приміщеннях. Вони можуть викликати як алергічні реакції, так і респіраторні інфекції, особливо у людей з ослабленим імунітетом. Найчастіше виявляються спори грибів родів *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Penicillium* та ін. Крім того, повітря може містити патогенні мікроорганізми – бактерії та віруси. Такі біоаерозолі поширюються при чханні, кашлі або розпиленні часток води і можуть стати джерелом інфекційних захворювань, включно з грипом, COVID-19, туберкульозом та іншими. В умовах скупчення людей, особливо в закритих просторах, ризик зараження зростає.

Таким чином, біологічні показники є важливою складовою моніторингу якості повітря, особливо в міських середовищах і громадських місцях. Їх облік допомагає вчасно виявляти небезпечні тенденції, попереджати загострення алергій або спалахи інфекцій, а також приймати обґрунтовані рішення для зменшення біологічного навантаження на населення. Радіаційні відображають рівень іонізуючого випромінювання, що може бути небезпечним для здоров'я. Радіаційні показники якості повітря відображають рівень іонізуючого випромінювання, яке, у надмірних концентраціях, є небезпечним для здоров'я людини та навколишнього середовища. Іонізуюче випромінювання може призводити до ушкодження клітин, мутацій ДНК, розвитку онкологічних захворювань та інших серйозних наслідків, особливо при тривалому впливі [6].

Одним із основних джерел радіаційного забруднення в повітрі є радон (Rn) – радіоактивний газ, що природним чином утворюється при розпаді урану в ґрунтах і гірських породах. Він може потрапляти до повітря в будинках, особливо в погано провітрюваних підвальних приміщеннях. Радон є другим за значущістю фактором ризику розвитку раку легень після куріння. Ще одним видом радіаційного впливу є гамма-випромінювання – високочастотне

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Озону (O₃);
- Діоксиду азоту (NO₂);
- Діоксиду сірки (SO₂) (табл. 1.1) [9].

Крім того, по тому, як показники характеризують атмосферне повітря, вони можуть бути кількісними, якісними та змішаними. У системах моніторингу якості атмосферного повітря показники поділяються на якісні та кількісні. Кількісні показники характеризують точні концентрації забруднюючих речовин у повітрі, таких як діоксид азоту (NO₂), озон (O₃), чадний газ (CO), частинки PM_{2.5} і PM₁₀, формальдегід, сірчистий газ та інші. Їх значення вимірюються в одиницях маси на об'єм, наприклад, мікрограми на кубічний метр (мкг/м³), і використовуються для порівняння з нормативами безпеки. Якісні показники натомість відображають загальну оцінку стану повітря – наприклад, «добре», «помірне», «шкідливе для здоров'я» – або класифікацію за кольорами відповідно до індексу якості повітря (AQI). Таке поєднання дозволяє ефективно інформувати населення про екологічну ситуацію та приймати необхідні заходи для захисту здоров'я. Змішані показники містять і кількісну, і якісну складову. Наприклад, мінералізація води може бути виражена як числове значення (до 1 г/дм³) та одночасно описана словесно – «прісна вода».

1.2 Особливості застосування технології Інтернету речей при побудові інформаційних систем збору даних

У найближчому майбутньому розвиток окремих, неузгоджених між собою IoT-рішень, ймовірно, випереджатиме впровадження інтегрованих систем, побудованих на уніфікованих стандартах. Це характерно для будь-якої нової технології на ранньому етапі її становлення. Зокрема, як зазначають Sutaria і Govindachari, основні труднощі в побудові мереж IoT пов'язані з двома чинниками: необхідністю тривалого автономного функціонування пристроїв із низьким енергоспоживанням та нестабільністю мережевого з'єднання, що призводить до втрати пакетів. Сучасні стандартні Інтернет-протоколи погано

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

адаптовані до таких умов. Більше того, існує значний розрив між величезною кількістю IoT-пристроїв, які генерують дані з високою інтенсивністю по всьому світу, і централізованими хмарними технологіями, що зберігають ці дані в обмеженій кількості локацій із низькою частотою оновлення.

Щоб поєднати ці два типи систем і забезпечити ефективну роботу, необхідна адаптація мережевих протоколів на всіх рівнях мережевої архітектури – від фізичного до прикладного. Різні організації та форуми працюють над розширенням і адаптацією Інтернет-протоколів для потреб IoT. Серед них:

- Міжнародний союз електрозв'язку (ITU): об'єднує 193 країни і понад 700 учасників, включаючи науково-промислові підприємства, операторів зв'язку, мовні компанії та міжнародні організації;

- Всесвітній форум IoT (IoT World Forum): об'єднує компанії IBM, Intel, Cisco, Samsung;

- Національний інститут стандартів і технологій США (NIST);

- Консорціум індустріального Інтернету (IIC): включає SAP, IBM, Intel, Fujitsu, General Electric, Oracle.

Крім того, деякі з цих організацій розробляють формалізовану архітектуру для IoT – для класифікації функцій за рівнями мережевого стеку. Хоча чинні стандарти Інтернету й зробили можливим розвиток IoT, у найближчому майбутньому навряд чи з'явиться повністю новий стек стандартів – скоріш за все, будуть модифікуватися та доповнюватися наявні рішення. Як і інші інтернет-засновані технології, IoT буде розвиватися спонтанно, проходячи етап природного відбору, в якому поступово визначаються найефективніші технології та протоколи. Однак через складність IoT доцільно розробити архітектуру, яка б окреслювала основні компоненти системи та їх взаємозв'язки. Така архітектура може забезпечити:

- контрольний список для адміністраторів і менеджерів IT для оцінки рішень постачальників; – орієнтир для розробників щодо необхідних функцій і їхньої взаємодії;

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

– базу для стандартизації, яка сприятиме сумісності рішень і зменшенню витрат.

Еталонна модель Інтернету речей (IoT) від Міжнародного союзу електров'язку (МСЕ-Т) описана у Рекомендації Y.2060. На відміну від більшості інших моделей і архітектур IoT, що представлені в науковій літературі, модель МСЕ-Т акцентує увагу на конкретних фізичних компонентах екосистеми IoT. Це особливо важливо, оскільки дозволяє краще зрозуміти, які саме елементи повинні бути з'єднані, інтегровані, керовані й доступні для додатків. Такий рівень деталізації допомагає формулювати вимоги до функціональних можливостей IoT-рішень. Однією з ключових ідей цієї моделі є те, що IoT – це не просто мережа фізичних об'єктів, а скоріше сукупність пристроїв, пов'язаних із фізичними речами, разом із прикладними платформами (наприклад, комп'ютерами, смартфонами, планшетами), які взаємодіють із цими пристроями. Отже, розгляд моделі МСЕ-Т доцільно почати з визначення основних типів пристроїв:

– мережа зв'язку (Communication Network): інфраструктура, що забезпечує з'єднання між пристроями та додатками, зокрема через IP-протоколи або Інтернет;

– річ (Thing): фізичний або віртуальний об'єкт, який можна ідентифікувати та підключити до мережі;

– пристрій (Device): обладнання, здатне до обміну даними й, за необхідності, до вимірювань, збереження чи обробки інформації;

– пристрій переносу даних (Data-carrying Device): забезпечує непрямий зв'язок між фізичним об'єктом і мережею (наприклад, RFID-мітки);

– пристрій збору даних (Data-capturing Device): пристрій для зчитування або запису інформації, що може працювати через носії або пристрої перенесення даних;

– носій даних (Data Carrier): об'єкт без живлення (наприклад, штрихкод або QR-код), прикріплений до фізичного об'єкта з метою його ідентифікації або передачі інформації;

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- сенсорний пристрій (Sensing Device): фіксує показники навколишнього середовища й перетворює їх у цифрові сигнали;
- виконавчий пристрій (Actuating Device): перетворює цифрові сигнали із мережі на фізичні дії;
- пристрій загального призначення (General Device): універсальні пристрої з вбудованими комунікаційними та обчислювальними функціями, наприклад, побутова техніка, верстати, смартфони;
- шлюз (Gateway): компонент, який з'єднує пристрої з мережею та транслює протоколи між різними рівнями системи.

IoT має унікальну особливість порівняно з традиційними мережевими системами — наявність великої кількості фізичних пристроїв, які не є обчислювальними машинами, але тісно з ними взаємодіють. Як показано на схемі (рис. 1.1, адаптованій з Рекомендації Y.2060), еталонна модель IoT розглядає систему як мережу пристроїв, інтегрованих із фізичними об'єктами. Сенсори та виконавчі пристрої безпосередньо взаємодіють із навколишнім середовищем, тоді як пристрої збору даних отримують або записують інформацію, зокрема через RFID-мітки або носії даних.

У моделі також чітко розмежовується поняття пристрою перенесення даних і носія даних:

- пристрій перенесення даних — активний пристрій, що має принаймні комунікаційні можливості, наприклад, RFID-мітка;
- носій даних — пасивний елемент, прикріплений до фізичного об'єкта для ідентифікації або передачі даних, наприклад, штрихкод або QR-код.

У Рекомендації Y.2060 зазначено, що для взаємодії між пристроями збору даних і пристроями перенесення даних або носіями даних можуть використовуватися різні технології збудження: радіочастотне, інфрачервоне, оптичне та гальванічне.

Наведені приклади для кожного типу технології:

- радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безконтактного зчитування інформації;

– оптична технологія: реалізується за допомогою штрих-кодів та QR-кодів, які слугують носіями даних і зчитуються оптичними пристроями (наприклад, сканерами);

– інфрачервона технологія: застосовується у спеціалізованих середовищах, таких як військові об'єкти, лікарні тощо, для відстеження місцезнаходження та руху персоналу. Прикладами є інфрачервоні мітки у вигляді нашивок на одязі, що або відбивають світло, або містять елементи живлення й активно передають ідентифікаційні сигнали.

Ці методи збудження дають змогу ефективно передавати інформацію від фізичних об'єктів до пристроїв, що збирають дані, з урахуванням конкретних умов середовища та вимог до ідентифікації.



Рисунок 1.1 – Типи пристроїв та їх взаємозв'язок із фізичними речами

Деякі інфрачервоні бейджі можуть мати кнопку, яка дозволяє використовувати їх для проходу через автоматизовані контрольні пункти. Інші – Радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для автоматично надсилають сигнал, що дозволяє здійснювати моніторинг переміщення

персоналу. Крім того, пульти дистанційного керування, які широко застосовуються у побуті чи в інших сферах для керування електронними пристроями, також можуть бути інтегровані до систем IoT.

Гальванічне збудження – Радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для ще один спосіб передачі даних, прикладом якого є медичні імпланти. Ці пристрої використовують електропровідні властивості людського тіла для передавання сигналів від імпланта до зовнішніх електродів, розташованих на шкірі. Такий підхід дозволяє мінімізувати споживання енергії та зменшити розміри й складність самих імплантів. Останній тип пристроїв, що розглядається в еталонній моделі, – Радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для це пристрої загального призначення. Вони мають вбудовані комунікаційні та обчислювальні функції, що дає змогу інтегрувати їх у середовище IoT. Яскравим прикладом є концепція «розумного будинку», яка дозволяє підключати практично будь-який домашній пристрій до мережі для централізованого чи віддаленого керування. У Рекомендації Y.2060 також представлено загальний огляд елементів, задіяних у побудові IoT-систем. Розглянуто різні варіанти підключення фізичних пристроїв, з урахуванням того, що одна або кілька мереж можуть одночасно забезпечувати комунікацію між ними. Окрема увага приділяється шлюзам, які є ключовими вузлами в IoT-інфраструктурі. Їх основна функція – Радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для трансляція протоколів, що дозволяє забезпечити сумісність між різними типами пристроїв і мереж, зокрема Інтернетом або внутрішніми корпоративними системами.

Так звані «розумні» пристрої часто використовують широкий спектр як дротових, так і бездротових технологій зв'язку та протоколів, проте зазвичай мають обмежені обчислювальні ресурси. Рекомендація Y.2067 формулює

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

ключові вимоги до шлюзів IoT. Їх функції умовно поділяються на три основні групи:

1. Підтримка технологій доступу до пристроїв: шлюз забезпечує обмін даними між пристроями, а також з мережею Інтернет або корпоративною мережею. Серед підтримуваних технологій доступу – Радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi тощо.

2. Підтримка мережевих технологій: шлюз має бути здатним працювати як у локальних, так і в глобальних мережах. Це може включати Ethernet і Wi-Fi на місцевому рівні, а також стільниковий зв'язок, DSL, кабельний доступ та інші технології для зв'язку з Інтернетом або глобальними корпоративними мережами.

3. Підтримка взаємодії з додатками, управління мережею та забезпечення безпеки: шлюз має інтегруватися з прикладними рівнями, забезпечувати адміністрування системи та реалізовувати засоби захисту даних.

Перші дві категорії також охоплюють функцію трансляції протоколів між різними мережевими технологіями та стеком протоколів, що забезпечує зв'язок у гетерогенному середовищі пристроїв.

Третя категорія вимог до шлюзів, згідно з Рекомендацією Y.2067, зазвичай визначається як функціональність IoT-агента. Такий агент виконує високорівневі завдання від імені IoT-пристроїв. Зокрема, він може агрегувати або узагальнювати дані з кількох пристроїв для подальшої передачі до IoT-додатків, забезпечувати безпеку, підтримувати відповідні протоколи та взаємодіяти з системами управління мережею.

Хоча термін "мережа зв'язку" формально не визначено у стандартах серії Y.206x, його використання передбачає інфраструктуру, яка забезпечує комунікацію між пристроями. Така мережа також може безпосередньо підтримувати роботу прикладних платформ. Вона може бути як локальною – Радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для наприклад,

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

домашньою мережею «розумного» будинку, – Радіочастотна технологія: використовується у радіочастотній ідентифікації (RFID), де застосовуються радіомітки або RFID-бірки для так і частиною більш масштабного середовища, з'єднаного з корпоративними мережами або Інтернетом, де здійснюється обмін даними з додатками й базами даних, пов'язаними з IoT.

У Рекомендації також описано три основні варіанти взаємодії між IoT-пристроями:

1. Через шлюз: наприклад, сенсор або виконавчий пристрій, що використовує Bluetooth, може передавати дані до пристрою збору інформації або пристрою загального призначення з підтримкою Wi-Fi, при цьому шлюз забезпечує трансляцію між цими технологіями.

2. Безпосередньо через мережу зв'язку: якщо всі пристрої в локальній мережі (наприклад, у системі «розумного дому») підтримують одну й ту саму технологію, як-от Bluetooth, вони можуть обмінюватися даними або управлятися напряму зі смартфона, планшета чи комп'ютера.

3. Прямий зв'язок у межах окремої локальної мережі: пристрої можуть обмінюватися інформацією безпосередньо між собою в межах окремої локальної мережі, тоді як підключення до зовнішніх мереж, зокрема Інтернету, здійснюється через LAN-шлюз (цей зв'язок на схемі не завжди відображено).

У рамках IoT кожен фізичний об'єкт може мати одну або кілька віртуальних репрезентацій у цифровому середовищі. Проте існують і віртуальні речі, які не мають фізичного відповідника. Такі віртуальні об'єкти зберігаються у базах даних чи інших інформаційних структурах і стають основою для роботи додатків, які взаємодіють саме з цими цифровими представленнями, а не з фізичними об'єктами безпосередньо.

Еталонна модель IoT від МСЕ-Т, описана в Рекомендації Y.2060 (рис. 1.2), складається з чотирьох функціональних рівнів, а також двох наскрізних компонентів — управління та забезпечення безпеки, які діють між усіма рівнями.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18



Рисунок 1.2 – Еталона модель IoT за рекомендацією Y.2060

Раніше ми розглядали рівень пристроїв, який охоплює, за аналогією з моделлю OSI, фізичний та канальний рівні.

Рівень мережі. Цей рівень виконує дві ключові функції:

- Мережева взаємодія — забезпечує комунікацію між пристроями та шлюзами.

- Транспортна функція — відповідає за передачу інформації від IoT-пристроїв до сервісів та додатків, а також передачу даних, пов'язаних з управлінням і контролем IoT-систем.

Ці функції відповідають мережевому та транспортному рівням OSI.

Рівень підтримки сервісів та додатків. Цей рівень забезпечує функціональність, яку використовують IoT-додатки. Вона поділяється на:

- Загальні можливості – наприклад, обробка даних, управління базами даних, якими можуть користуватися різні додатки;

- Спеціалізовані можливості – розроблені для задоволення потреб конкретних сфер застосування, наприклад, в енергетиці чи охороні здоров'я.

Рівень додатків. Охоплює усі прикладні рішення, які безпосередньо взаємодіють з IoT-пристроями.

Це можуть бути як споживчі застосунки (наприклад, «розумний будинок»), так і промислові або комерційні рішення.

Рівень управління. Цей рівень реалізує традиційні функції управління мережею, які охоплюють:

- управління помилками;
- управління конфігурацією;
- облік;
- моніторинг продуктивності;
- управління безпекою.

До загальних функцій управління, згідно з У.2060, належать:

- Управління пристроями: виявлення, автентифікація, віддалене вмикання/вимикання, конфігурація, діагностика, оновлення ПЗ, контроль робочого стану;

- Управління топологією локальних мереж: наприклад, організація та зміна конфігурації мережі;

- Управління трафіком і навантаженням: виявлення перевантаження та резервування ресурсів для критично важливих даних чи термінового трафіку.

Спеціалізовані функції управління залежать від потреб конкретних застосувань. Наприклад, контроль мереж електропостачання в «розумній» енергосистемі.

Рівень безпеки. Цей рівень включає загальні заходи безпеки, що не залежать від конкретного додатку. У У.2060 наводяться такі приклади:

- На рівні додатків:
 - авторизація й автентифікація;
 - захист конфіденційності та цілісності даних;
 - забезпечення приватності;
 - аудит безпеки;
 - антивірусний захист.
- На мережевому рівні:
 - автентифікація й авторизація;

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

- захист даних сигналізації та даних про використання;
- забезпечення цілісності мережевих даних.
- На рівні пристроїв:
 - контроль доступу;
 - перевірка автентичності та цілісності пристрою;
 - захист даних, що передаються або зберігаються на пристрої.

Спеціалізовані функції безпеки розробляються з урахуванням конкретних вимог додатків, наприклад, для захисту мобільних платіжних систем або інших критичних сервісів.

Всесвітній форум IoT (IoT World Forum, IWF) – це щорічний захід, організований за підтримки промисловості, який об’єднує представників бізнесу, державного сектору та академічної спільноти з метою просування технологій Інтернету речей на ринок.

Архітектурний комітет форуму, до складу якого входять провідні компанії галузі, зокрема IBM, Intel та Cisco, у жовтні 2014 року представив еталонну модель IoT. Ця модель є універсальною рамковою структурою, що має на меті прискорити впровадження IoT шляхом стандартизації та створення повторюваних сценаріїв розгортання рішень.

Еталонна модель IWF доповнює модель, запропоновану MCE-T. Якщо рекомендації серії Y.206x MCE-T переважно фокусуються на нижчих рівнях архітектури, таких як пристрої й шлюзи, приділяючи мінімальну увагу рівню додатків (у Y.2060 він згадується лише коротко), то модель IWF орієнтована на розробку додатків, проміжного програмного забезпечення та корпоративної IoT-інфраструктури.

Таким чином, підхід IWF є ширшим і охоплює повний цикл IoT-розгортання, що робить запропоновану ними семирівневу архітектуру важливим ресурсом для компаній, які прагнуть інтегрувати IoT у свої бізнес-процеси. Ця структура представлена на рисунку 1.3.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

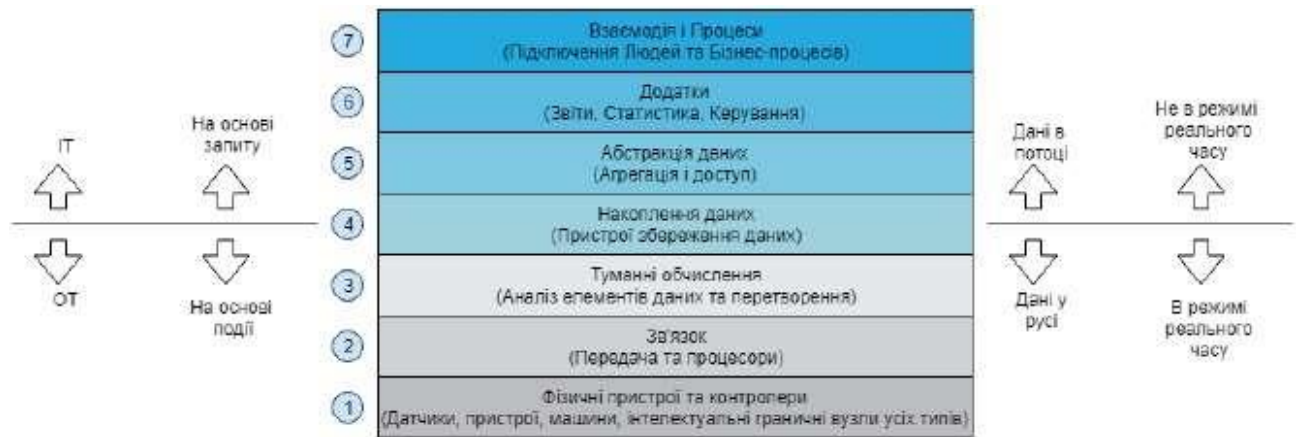


Рисунок 1.3 – Еталонна модель від Всесвітнього форуму IoT

Документальна версія моделі IoT, запропонована Cisco, описує кілька ключових характеристик, які відрізняють цю модель:

- Спрощення: модель розбиває складну IoT-систему на зрозумілі частини, роблячи її простішою для сприйняття;
- Уточнення: вона допомагає точно визначити рівні в архітектурі IoT і уніфікувати термінологію;
- Ідентифікація: дозволяє зрозуміти, в яких частинах системи краще реалізувати певні типи обробки;
- Стандартизація: служить основою для створення взаємосумісних продуктів і рішень у сфері IoT;
- Організація: робить реалізацію IoT-проектів практичною, перетворюючи концепцію в реальні технічні рішення.

Перший рівень моделі включає фізичні пристрої та контролери, здатні керувати кількома іншими пристроями. Цей рівень аналогічний рівню пристрою у моделі МСЕ-Т. У фокусі – не самі фізичні об'єкти, а обладнання, що взаємодіє з ними: сенсори, виконавчі механізми, пристрої збору й передачі даних. Вони можуть мати функції аналого-цифрового та цифро-аналогового перетворення, генерування даних, а також підтримку віддаленого моніторингу й керування.

Другий рівень відповідає мережевому рівню в архітектурі МСЕ-Т, хоча з важливою відмінністю – шлюзи в моделі IWF віднесені саме до цього рівня, що

логічно, з огляду на їхню роль у маршрутизації даних. З логічної точки зору цей рівень забезпечує взаємодію між пристроями та підтримує передачу даних до рівня обробки. З фізичної точки зору, рівень складається з мережевої інфраструктури – маршрутизаторів, комутаторів, шлюзів, міжмережєвих екранів – які утворюють локальні й глобальні мережі та з'єднують IoT-систему з Інтернетом або іншими мережами.

Третій рівень – це рівень периферійних обчислень (edge computing). Його основне завдання – зменшити обсяг даних, які потрібно передавати й зберігати, виконуючи обробку максимально близько до джерела. У випадку великих IoT-систем, наприклад, нафтових платформ або літаків, що можуть генерувати від терабайта до кількох терабайтів даних за короткий час, це дозволяє фільтрувати, агрегувати та трансформувати дані на місці. У результаті вищі рівні системи отримують вже оброблену та стиснуту інформацію, що значно підвищує ефективність і знижує навантаження на центральні обчислювальні ресурси.

У документі Cisco щодо моделі IWF наведено приклади типових функцій, які виконуються на рівні периферійних (edge) обчислень:

- Аналіз – попередня обробка даних з метою визначити, чи потребують вони подальшої обробки на вищих рівнях;
- Форматування – приведення даних до уніфікованого формату, зручного для подальшого аналізу;
- Розархівування/декодування – розшифрування криптографічно захищених даних із урахуванням додаткової інформації, наприклад, їх походження;
- Стиснення/агрегація – зменшення обсягу даних через узагальнення, щоб мінімізувати навантаження на мережу та високорівневі системи;
- Оцінка – визначення, чи перевищують дані встановлені порогові значення або є критичними (тривожними), з можливим пересиланням їх до спеціальних одержувачів.

Обчислювальні вузли на цьому рівні зазвичай функціонують як пристрої загального призначення згідно з моделлю MCE-T. Вони фізично розміщуються

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

безпосередньо біля джерел даних – поруч із сенсорами, виконавчими механізмами та іншими пристроями IoT.

Цей підхід дозволяє частину обробки перенести з центральних IoT-додатків ближче до периферії, тим самим зменшуючи обсяг даних, які необхідно передавати до хмарних або корпоративних систем, і знижуючи затримки.

Такий спосіб обробки також називають туманними обчисленнями (Fog Computing) (рис. 1.4). Вважається, що туманні технології та сервіси стануть невід'ємною частиною інфраструктури IoT.

Fog Computing у цьому контексті розглядається як альтернатива хмарним обчисленням. Якщо хмарна модель ґрунтується на централізованих обчислювальних потужностях і сховищах, доступних віддаленим клієнтам, то туманні обчислення переміщують обробку даних ближче до користувача, до самого «краю» мережі – що робить їх ефективнішими для задач з великим потоком даних у реальному часі.

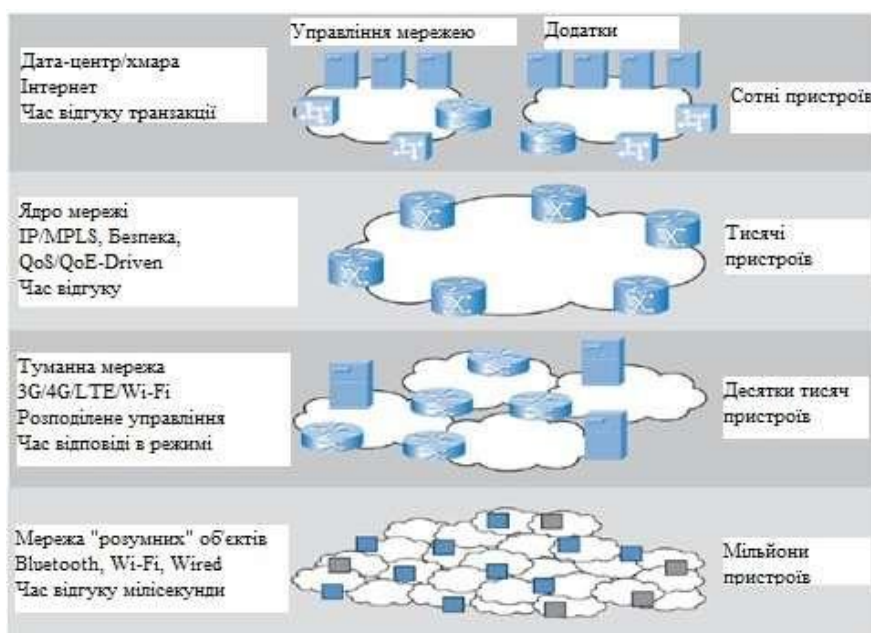


Рисунок – 1.4. Туманні обчислення

У туманних обчисленнях численні інтелектуальні пристрої взаємодіють із спеціальними мережевими структурами, що розміщують обчислювальні потужності та ресурси максимально близько до периферійних IoT-пристроїв.

Такий підхід дозволяє ефективно вирішувати виклики, пов'язані з масовим використанням «розумних» технологій, зокрема проблеми затримок, обмеженої пропускну здатності мереж, безпеки й конфіденційності. Назва «туманні обчислення» символізує їх наближеність до користувача, на відміну від «хмарних», які знаходяться на віддалених серверах.

На четвертому рівні, який відповідає за накопичення даних, інформація, отримана з різноманітних пристроїв і попередньо оброблена на периферії, зберігається в спеціалізованих сховищах. Цей рівень є проміжним — він відрізняється як від нижчих (туманних), так і від вищих (хмарних) рівнів, маючи власну архітектуру, специфічні вимоги та методи обробки даних (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Порівняння хмарних та туманних обчислень

	Хмара	Туман
Розташування ресурсів, зберігання / обробки	Центр	Край
Затримка	Від низької до високої	Низька
Доступ	Фіксований або бездротовий	Головним чином безпроводний
Підтримка мобільності	Не застосовується	Так
Контроль	Централізований / ієрархічний (повний контроль)	Розподілений / ієрархічний (частковий контроль)
Доступ до служб	Через ядро	На краю / з портативного пристрою (смартфон і т.д.)
Доступність	99,99%	Висока нестабільність / високий рівень резервування
Число користувачів / пристроїв	Десятки і сотні мільйонів	Десятки мільярдів
Основний генератор контенту	Люди і пристрої	Пристрої / сенсори
Генерація контенту	У центральному розташуванні	Скрізь
Споживання контенту	На кінцевих пристроях	Скрізь
Віртуальна програмна інфраструктура	Центральні корпоративні сервери	Призначені для користувача пристрої

Дані, що передаються мережею, називають «даними в русі». Їхня швидкість та спосіб організації залежать від пристроїв-джерел, які їх генерують. Така генерація може відбуватись за подіями, періодично або у відповідь на певні зміни в середовищі. Щоб збирати й обробляти ці дані, потрібно реагувати на їх появу у реальному часі. Однак не всім додаткам потрібно працювати з даними на такій швидкості — більшість з них оперують так званими «даними в спокої», тобто збереженими в доступних сховищах. Ці дані можуть оброблятися у зручний момент, поза режимом реального часу. Таким чином, вищі рівні системи працюють за транзакційним принципом, тоді як нижні три — за подієвим.

На рівні накопичення даних (рівень 4), за даними з джерела, виконуються такі основні функції:

- перетворення «даних в русі» на «дані в спокої»;
- трансформація даних з мережевих пакетів у реляційні таблиці баз даних;
- перехід від обчислень за подіями до обчислень на основі запитів;
- суттєве скорочення обсягів інформації через фільтрацію та вибіркоче збереження.

Рівень накопичення також виконує роль межі між інформаційними технологіями (ІТ) — до яких належать програмне забезпечення, апаратне забезпечення, засоби зв'язку і супутні сервіси — та операційними технологіями (ОТ), які включають обладнання і ПЗ, що контролюють фізичні процеси, пристрої або події на підприємстві.

Цей рівень збирає великий обсяг різнотипних і часто нефільтрованих даних, що надходять у різних форматах від широкого кола пристроїв і обробників. При цьому він ще не адаптує ці дані під конкретні потреби окремих програм чи груп додатків. На наступному, п'ятому рівні — рівні абстракції — ці дані можуть бути агреговані й перетворені у більш зручні формати, що дозволяє забезпечити контрольований та ефективний доступ з боку прикладних систем.

- Здійснюється об'єднання даних з різних джерел, що передбачає узгодження кількох форматів даних.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

– Проводяться необхідні перетворення, щоб забезпечити єдину семантику інформації незалежно від джерела.

– Оброблені та структуровані дані розміщуються у відповідні бази даних: великі масиви повторюваних даних – у системи для роботи з Big Data (наприклад, Hadoop), а подієві дані – у реляційні СУБД, які забезпечують високу швидкість реакції та зручний інтерфейс.

– Вищі рівні сповіщаються про завершення завантаження даних або досягнення заданого обсягу.

– Дані консолідуються в єдиному місці за допомогою технологій ETL (витяг, трансформація, завантаження), ELT (витяг, завантаження, трансформація) або методів реплікації. Може також реалізовуватися доступ до розподілених джерел через віртуалізацію.

– Забезпечується безпека даних за рахунок автентифікації та авторизації користувачів.

– Дані нормалізуються або денормалізуються, індексуються для забезпечення швидкого й ефективного доступу прикладних систем.

Шостий рівень – це рівень додатків, на якому працюють різноманітні програми, що або використовують вхідні дані IoT, або керують IoT-пристроями. Здебільшого вони взаємодіють із п'ятим рівнем, тобто з уже збереженими («в спокої») даними, і тому не потребують обробки у реальному часі.

Також може бути реалізований спрощений режим роботи, який дозволяє окремим додаткам напряму звертатися до третього або навіть другого рівня, минаючи проміжні етапи. Водночас модель IWF не встановлює суворих обмежень щодо функціонування додатків, залишаючи це поза межами своєї основної концепції.

Сьомий рівень — це рівень взаємодії та процесів, який підкреслює, що повноцінна реалізація потенціалу IoT можлива лише за умови, коли до системи можуть долучатися люди. Цей рівень може включати як прикладні сервіси, так і інтерфейси для обміну інформацією або управління через Інтернет чи внутрішню мережу організації.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Модель IWF розглядається як еталонна архітектура IoT у промисловості. Вона служить для уніфікації термінології та концепцій, пов'язаних із Інтернетом речей. Більш того, модель визначає ключові функції та виклики, які потрібно вирішити, щоб ефективно реалізувати цінність IoT. Вона є практичним інструментом як для розробників, які створюють відповідні компоненти, так і для замовників, що формують технічні вимоги та аналізують пропозиції постачальників.

1.3 Аналіз технічних рішень системи збору параметрів повітря

Збір даних з віддалених точок, розподілених по великій території [7-9], може слугувати дієвим інструментом для відстежування параметрів якості повітря. В більшості європейських країн, США, Канаді, Південно-Західній Азії створені національні мережі станцій контролю атмосферного повітря в онлайн режимі. Такі станції контролюють основні забруднювачі атмосфери, які виникають у різноманітних процесах горіння в енергетиці, транспорті та промисловості: оксид вуглецю, діоксид сірки, оксиди азоту, озон, частинки пилу розміром 2,5 мкм і 10 мкм, також метеопараметри [10].

Система моніторингу якості повітря, яка базується на технології Інтернету речей (IoT) [11-12], складається з кількох ключових компонентів, кожен з яких виконує важливу роль у процесі збору, передачі, обробки та візуалізації даних.

Sensors (Датчики). Першим етапом є вимірювання параметрів повітря за допомогою сенсорів. Залежно від завдань, використовуються різні типи датчиків: для визначення температури, вологості, вмісту вуглекислого газу (CO₂), твердих частинок (PM_{2.5}, PM₁₀), летких органічних сполук (ЛОС) тощо. Сенсори фіксують поточні значення параметрів та формують дані для подальшої обробки.

Device (Пристрій збору та обробки даних). Отримані сигнали з датчиків надходять до спеціального пристрою (мікроконтролера або плати), який

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

обробляє дані, фільтрує їх та готує до передачі. Часто пристрій має енергонезалежне живлення та працює автономно.

Gateway (Шлюз). Далі оброблені дані передаються на шлюз за допомогою бездротового протоколу, наприклад LoRaWAN — це енергоефективна технологія передачі даних на великі відстані. Шлюз збирає інформацію з кількох пристроїв і забезпечує передачу її на наступний рівень.

Cloud (Хмарне середовище). Зі шлюзу дані надходять у хмарну платформу, де відбувається збереження, аналітика та іноді додаткова обробка. Хмара забезпечує постійний доступ до історичних і актуальних даних, можливість масштабування та централізоване управління.

Dashboard (Інтерфейс користувача). Заключний етап — візуалізація даних через інформаційну панель (Dashboard). Користувачі (екологи, інженери, муніципальні служби) можуть переглядати графіки, діаграми та отримувати повідомлення про перевищення допустимих норм. Інтерфейс може бути доступний через браузер або мобільний застосунок.

У сучасних умовах зростаючого забруднення навколишнього середовища та глобальної урбанізації все більше актуалізується питання розробки ефективних систем моніторингу якості повітря. Інтернет речей (IoT) пропонує гнучкі рішення для збору, передавання та аналізу екологічних даних у реальному часі. Одним із ключових компонентів таких систем є IP-шлюзи (мережеві шлюзи), що забезпечують зв'язок між пристроями збору даних (датчиками) і хмарними або локальними серверами. Серед найбільш перспективних технологій зв'язку для побудови таких систем виділяють LoRaWAN, Narrowband-IoT (NB-IoT), Sigfox та Zigbee.

Кожна з перерахованих технологій має власні технічні особливості, переваги й обмеження. Наприклад, LoRaWAN працює в неліцензованому спектрі частот і характеризується низьким енергоспоживанням та великим радіусом дії. Вона ідеально підходить для пристроїв, які працюють автономно і надсилають дані з низькою частотою. У порівнянні з NB-IoT, LoRaWAN споживає менше електроенергії, що робить її життєздатною у проектах, де

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

важливий тривалий час автономної роботи пристрою – до 15 років проти 10 років у NB-IoT.

NB-IoT, у свою чергу, базується на ліцензованому спектрі і підтримується більшістю мобільних операторів зв'язку, що забезпечує високу надійність, безпеку (256-бітне шифрування 3GPP), а також кращу пропускну здатність (до 60 кбіт/с) [11]. Однак використання NB-IoT пов'язане з вищими фінансовими витратами на підключення до мережі. Водночас, затримки при передаванні даних на NB-IoT зазвичай менші, ніж у LoRaWAN, хоча це також залежить від типу пристрою та класифікації [12].

Ще одним варіантом є Sigfox, який позиціонується переважно для промислових рішень. Через закритість технології, використання Sigfox є менш бажаним для відкритих екосистем [13]. Zigbee, який базується на IEEE 802.15.4, є доцільним для малих мереж із низьким енергоспоживанням, наприклад для домашніх сенсорних систем. Проте для польових або міських умов він є малоприматним.

З огляду на аналіз переваг і недоліків, найраціональнішим вибором для побудови розподіленої системи моніторингу якості повітря є LoRaWAN. Вона забезпечує великий вибір сумісного обладнання, не потребує ліцензування, підтримує геолокацію та має низьке енергоспоживання. Завдяки цьому розгортання системи на основі LoRaWAN є економічно ефективним і технологічно обґрунтованим [12].

Для реалізації граничного пристрою в системі моніторингу повітря рекомендовано використовувати RISC-V мікроконтролер ESP32 або одноплатний комп'ютер Raspberry pi з вбудованим LoRa-модемом (рис. 1.5).

Потужні одноплатні комп'ютери (ПКК) типу Raspberry pi поєднують компактність конструкції із широкими функціональними можливостями. Одноплатний комп'ютер (ПКК) — це повноцінна обчислювальна система, що розміщується на одній друкованій платі та містить центральний процесор, оперативну пам'ять, графічний модуль, інтерфейси вводу/виводу та засоби підключення до мережі. На сьогоднішній день потужні ПКК застосовуються в

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

тих сферах, де виникає необхідність у високопродуктивній обробці значних обсягів даних, взаємодії з мережею Інтернет, обслуговуванні відеопотоків з камер спостереження та керуванні зовнішнім обладнанням. Серед усіх розглянутих типів вбудованих систем, саме цей варіант є придатним для реалізації мобільних роботизованих платформ (МР), які функціонують у складі складних автоматизованих систем на базі нейронних мереж. Ключовою особливістю таких ПМК є підтримка операційних систем реального часу (RTOS), що забезпечують високу швидкість, детермінованість обчислювальних процесів та стабільну роботу в умовах жорстких часових обмежень. Завдяки цим властивостям вони ефективно використовуються в системах машинного зору, автономної навігації та адаптивного керування.



а



б



Рисунок 1.5 – Апаратне забезпечення з Lora:

а) Raspberry pi; б) ESP32

Така апаратна конфігурація забезпечує 128-бітне шифрування даних, можливість роботи в режимі глибокого сну та великий радіус дії сигналу. До основних компонентів пристрою належать LoRa-модуль SX1278, багатофункціональний сенсор VME680 (вимірює температуру, вологість, тиск і концентрацію газів), модуль зарядки TP4056, SMA-антена та елементи живлення на базі акумуляторів 18650 з можливістю підживлення від сонячної панелі (рис. 1.6).

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

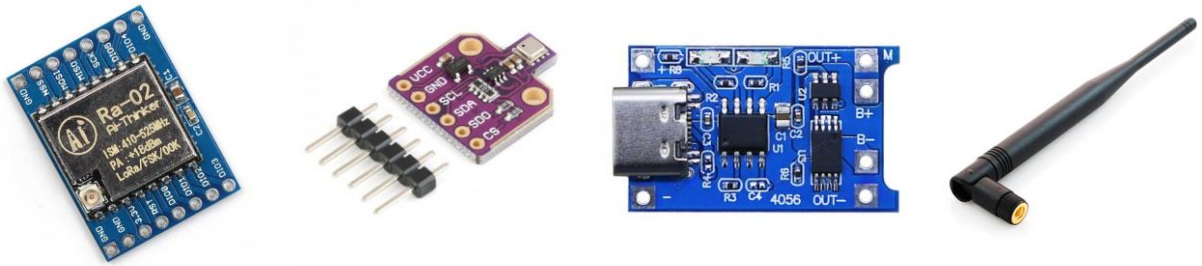


Рисунок 1.6 – Компоненти системи:

- а) модуль LoRa SX1278 Ra-02 433 МГц, б) модуль датчика BME680,
в) модуль TP4056 зарядний пристрій із захистом, г) SMA-антена.

Передача даних здійснюється на частоті 868 МГц до шлюзу (gateway), який має підключення до Інтернету через Ethernet або мобільні мережі (3G/LTE). Завдяки поширеності мобільного зв'язку в Україні та доступним тарифам для IoT-пристроїв цей варіант підключення є зручним та ефективним [12].

На програмному рівні ключову роль відіграє серверна платформа ChirpStack — open-source рішення для розгортання та керування LoRaWAN-мережами. ChirpStack дозволяє керувати шлюзами, пристроями, а також здійснює інтеграцію даних із хмарними сервісами. Архітектура серверної частини включає компоненти Gateway Bridge (передає дані від шлюзів), Network Server (обробляє повідомлення мережевого рівня) та Application Server (працює із даними кінцевих користувачів). Допоміжними елементами є MQTT брокер (Mosquitto), Redis (для тимчасового зберігання даних) і PostgreSQL (для постійного зберігання) [11].

У робочому циклі програми пристрій опитує сенсор, передає дані на сервер і переходить у режим глибокого сну. MQTT-брокер приймає повідомлення та передає їх до Node-RED, де відбувається візуалізація параметрів — температури, тиску, вологості, газового опору — у вигляді графіків. Дані архівуються в JSON-форматі та зберігаються в локальному сховищі [11]. У масштабованій архітектурі допускається використання кількох

										Арк.
										32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

шлюзів для покриття великих територій або підвищення пропускної здатності мережі. Зазвичай один шлюз може обслуговувати до 10 000 пристроїв, однак у реальних умовах ці показники можуть варіюватися. Установлення додаткових шлюзів забезпечує надійність та масштабованість, але збільшує вартість інфраструктури [14].

Таким чином, використання LoRaWAN у поєднанні з Raspberry pi та платформою ChirpStack забезпечує створення ефективної, економічно доцільної та енергоефективної системи моніторингу якості повітря. Така система має високу масштабованість, автономність та можливість гнучкої інтеграції з існуючими інформаційними платформами.

1.4 Постановка завдань дослідження

У результаті проведеного аналізу було розглянуто основні показники якості атмосферного повітря, їх фізико-хімічну природу та вплив на здоров'я людини й довкілля. Особливу увагу приділено використанню технології Інтернету речей (IoT) при побудові інформаційних систем моніторингу повітря, а також проаналізовано сучасні технології передачі даних та IP-шлюзи, які можуть бути задіяні в таких системах. Обґрунтовано вибір найбільш ефективних IoT-рішень для побудови недорогих, енергоефективних та масштабованих систем, що здатні забезпечити збір, передачу та обробку даних з багатьох сенсорних вузлів.

У рамках цієї роботи необхідно вирішити такі задачі:

- визначити та охарактеризувати основні фізичні, хімічні, біологічні й радіаційні показники якості повітря;
- обґрунтувати доцільність застосування IoT при побудові системи моніторингу параметрів повітря;
- проаналізувати доступні IP-шлюзи та технології передачі даних, які найбільш доцільно використати для задач моніторингу;

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

- розробити загальну функціональну архітектуру системи на основі обраної технології передачі даних в Інтернет;
- описати апаратну та програмну частину граничного пристрою;
- визначити особливості інтеграції з сервером зберігання та обробки даних, а також передбачити засоби візуалізації результатів.

Реалізація цих завдань дозволить створити ефективну систему моніторингу повітря, яка може бути використана як у побутових умовах, так і на рівні муніципального чи промислового моніторингу стану навколишнього середовища.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

АРХІТЕКТУРА ТА ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ НА БАЗІ RASPBERRY PI

2.1 Розроблення функціональної схеми системи збору параметрів повітря

Принцип роботи системи моніторингу параметрів повітря на основі IoT є досить послідовним та структурованим. Система складається з різноманітних інтелектуальних сенсорів, які використовуються для вимірювання якості повітря, таких як концентрація дрібнодисперсних частинок (PM2.5, PM10), рівень вуглекислого газу (CO₂), чадного газу (CO), оксидів азоту (NO_x), летких органічних сполук (VOC), температури, вологості та атмосферного тиску (рис.2.1).

Ці сенсори підключаються до одноплатного комп'ютера типу Raspberry Pi або іншого мікроконтролера, що виконує функції локального шлюзу та контролера збору даних.



Рисунок 2.1 – Блок-схема системи моніторингу якості повітря на основі IoT

Після первинної обробки дані перетворюються на цифровий сигнал, який передається до хмарних сервісів або віддалених серверів за допомогою одного з бездротових каналів зв'язку: Wi-Fi, LoRaWAN, Zigbee, GSM/4G, NB-IoT або LTE-M. У міських умовах, де є покриття інтернетом, найчастіше застосовуються Wi-Fi або LTE. Для сільських, віддалених або енергозалежних локацій – LoRa або NB-IoT, які дозволяють передавати невеликі об'єми даних на значні відстані при мінімальному енергоспоживанні.

Це дозволяє забезпечити безперервний віддалений моніторинг якості повітря, що особливо важливо в умовах промислових зон, урбанізованих територій або регіонів із підвищеним рівнем забруднення атмосферного середовища. Така система дає змогу вчасно виявляти перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин, сприяючи оперативному реагуванню та впровадженню заходів для зниження екологічного ризику.

Вибір комунікаційної технології, а також параметрів, які необхідно контролювати, визначається специфікою моніторингу: промислові підприємства, житлові квартали, транспортні вузли чи природоохоронні території потребують різного набору сенсорів та рівня деталізації даних. Програмне забезпечення системи зазвичай включає модулі збору, управління, зберігання й аналізу даних, а також інструменти візуалізації та систему сповіщень про перевищення порогових значень контрольованих параметрів.

Датчики є основними апаратними елементами систем моніторингу повітря. Вони встановлюються у приміщеннях або на відкритих майданчиках і слугують для вимірювання широкого спектра показників: тверді частинки (PM1.0, PM2.5, PM10), вміст CO₂, CO, NO₂, SO₂, O₃, леткі органічні сполуки (VOC), температура, вологість, атмосферний тиск тощо. Вибір конкретних сенсорів залежить від завдань моніторингу – наприклад, в офісах пріоритетним є контроль CO₂, а в промислових зонах – концентрації пилу та токсичних газів.

Для розширення функціональності в будівлях, офісах та на об'єктах інфраструктури застосовуються також "розумні" IoT-рішення: кліматичні контролери, вентиляційні системи з сенсорним управлінням, автономні трекери

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

повітря. Вони дозволяють не лише відстежувати стан повітря, а й автоматично впливати на мікроклімат у приміщенні.

Шлюзи є ключовими вузлами зв'язку між сенсорами та хмарними сервісами, особливо у випадках, коли сенсори не мають прямого доступу до Інтернету. Дані з системи моніторингу повітря передаються до шлюзу IoT, який виконує функції буферизації, обробки, шифрування та маршрутизації. Для передачі інформації можуть використовуватись такі бездротові технології, як Wi-Fi, LoRa, ZigBee, NB-IoT, GSM або LTE. Вибір залежить від масштабів об'єкта, енергоспоживання, пропускної здатності та доступності інфраструктури. Пропускна здатність шлюзу визначається обсягом даних, які передаються, та частотою оновлення. Якщо передбачено велике навантаження або потрібна низька затримка, варто застосовувати шлюзи з підтримкою локальних обчислень (edge computing). Це дозволяє виконувати попередній аналіз, зменшити трафік до хмари та забезпечити оперативну реакцію системи (наприклад, вмикання фільтрації або вентиляції).

Центральний сервер або хмарна платформа виконує функцію централізованого зберігання, обробки та візуалізації даних. За допомогою алгоритмів машинного навчання, статистичного аналізу або експертних систем можливо виявляти закономірності, прогнозувати забруднення та будувати екологічні карти в режимі реального часу. Якщо виявляється небезпечна концентрація газів або пилу, система ініціює надсилання тривожних повідомлень або активує виконавчі механізми на місці.

Контроль в системі моніторингу повітря базується на показниках, які надходять від сенсорів до обчислювального вузла, наприклад Raspberry Pi (рис.2.2). Отримана інформація аналізується, систематизується і, за потреби, генерується відповідна реакція – наприклад, активація вентиляції або надсилання попередження. Також Raspberry Pi здатен отримувати та виконувати команди користувача, що підвищує рівень автоматизації, знижує ризик людської помилки та підвищує точність системи. Завдяки цьому користувачі

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

можуть оперативно реагувати на зміни в якості повітря і своєчасно вживати необхідних заходів для забезпечення безпечного середовища.

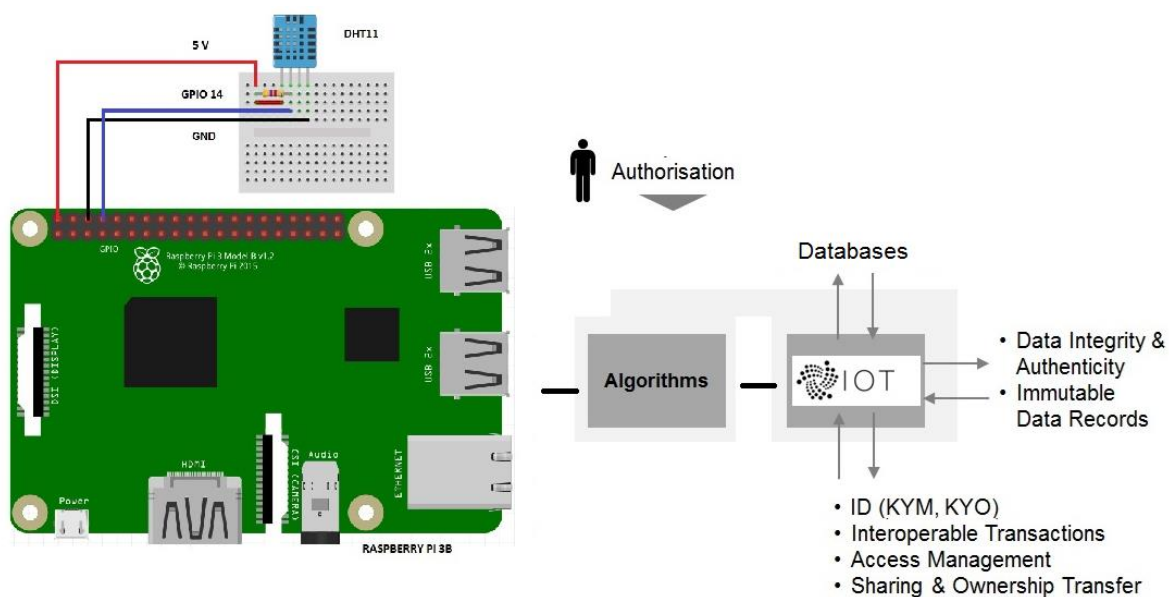


Рисунок 2.2 – Опис структури системи

У разі, якщо існуючі комерційні рішення не відповідають специфіці проекту, можлива розробка спеціалізованого обладнання. Це стосується як сенсорних модулів, так і шлюзів із визначеними технічними вимогами (підвищена стійкість, автономне живлення, сертифікація для промислового використання). Незважаючи на вищу вартість розробки, така стратегія дозволяє створити системи, точно адаптовані до потреб підприємства або органу влади.

Контроль в системі моніторингу повітря базується на показниках, які надходять від сенсорів до обчислювального вузла, наприклад Raspberry Pi. Отримана інформація аналізується, систематизується і, за потреби, генерується відповідна реакція – наприклад, активація вентиляції або надсилання попередження. Також Raspberry Pi здатен отримувати та виконувати команди користувача, що підвищує рівень автоматизації, знижує ризик людської помилки та підвищує точність системи. Завдяки цьому користувачі можуть оперативно реагувати на зміни в якості повітря і своєчасно вживати необхідних заходів для забезпечення безпечного середовища.

2.2 Складові частини функціональної схеми системи збору параметрів повітря

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 2 Model B v1.2 (рис. 2.3), представлений у жовтні 2016 року, є наступником моделі B версії 1.1 і побудований на основі однокристальної системи Broadcom BCM2837 з чотириядерним 64-бітним процесором ARM Cortex-A53 (900 МГц). У порівнянні з попередником (SoC BCM2836, ARM Cortex-A7), нова модель забезпечує вищу продуктивність і зберігає сумісність із аксесуарами та проектами Raspberry Pi 1 Model B+.

Ключові характеристики:

- Процесор: ARMv8-A Cortex-A53, 64-бітний, 4 ядра, 900 МГц;
- Графічний процесор: Broadcom VideoCore IV (250 МГц) з підтримкою OpenGL ES 2.0, апаратним прискоренням OpenVG і декодуванням H.264 (1080p30);
- Оперативна пам'ять: 1 ГБ LPDDR2 SDRAM;
- Інтерфейси: HDMI, Ethernet 10/100, порти DSI та CSI, GPIO (40 пінів з підтримкою SPI, I²C, UART), аудіо/відеовихід 3.5 мм (комбінований), мікро USB 5В, 2А;
- Завантаження ОС: з microSD-карти; підтримуються дистрибутиви Linux (Raspbian, Ubuntu MATE, Fedora, тощо), а також Windows 10 IoT, FreeBSD, RISC OS та ін.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд Raspberry Pi

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Температурний датчик Pt100 (рис. 2.4) функціонує на основі принципу вимірювання електричного опору, що змінюється залежно від температури. Його чутливим елементом є платиновий провідник із номінальним опором 100 Ом при температурі 0 °С. Платина характеризується позитивним температурним коефіцієнтом опору, тобто зі зростанням температури опір матеріалу збільшується. Лінійний коефіцієнт зміни опору становить приблизно 0,39 Ом/°С. Однією з головних переваг платинових терморезисторів є висока довгострокова стабільність: зміна опору за рік зазвичай не перевищує 0,2 Ом при температурі 0 °С, що робить Pt100 надійним засобом вимірювання температури в різних технічних і наукових застосуваннях.



Рисунок 2.4 – Датчик температури Pt100

Технічні характеристики температурного датчика Pt100:

- Тип сенсора: термометр опору (RTD);
- Діапазон вимірювання температури: від –200 °С до +850 °С;
- Класи точності:
 - Клас А: $\pm(0,15 + 0,002t)$ °С;
 - Клас В: $\pm(0,3 + 0,005t)$ °С;
- Матеріал чутливого елемента: платина;
- Номінальний опір: 100 Ом при температурі 0 °С;
- Температурний коефіцієнт опору: 0,00385 Ом/Ом/°С;

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Час відгуку: від 0,5 до 5 секунд залежно від конструктивних особливостей.

МН-Z19В – це компактний ІЧ-датчик (рис. 2.5), призначений для вимірювання рівня вуглекислого газу (CO₂) в повітрі. Завдяки високій точності та стабільності він широко використовується в системах моніторингу повітря, "розумних" будинках, системах вентиляції та освітніх проектах. Сенсор працює за принципом недисперсної інфрачервоної спектроскопії (NDIR), що забезпечує надійність у довготривалому використанні.

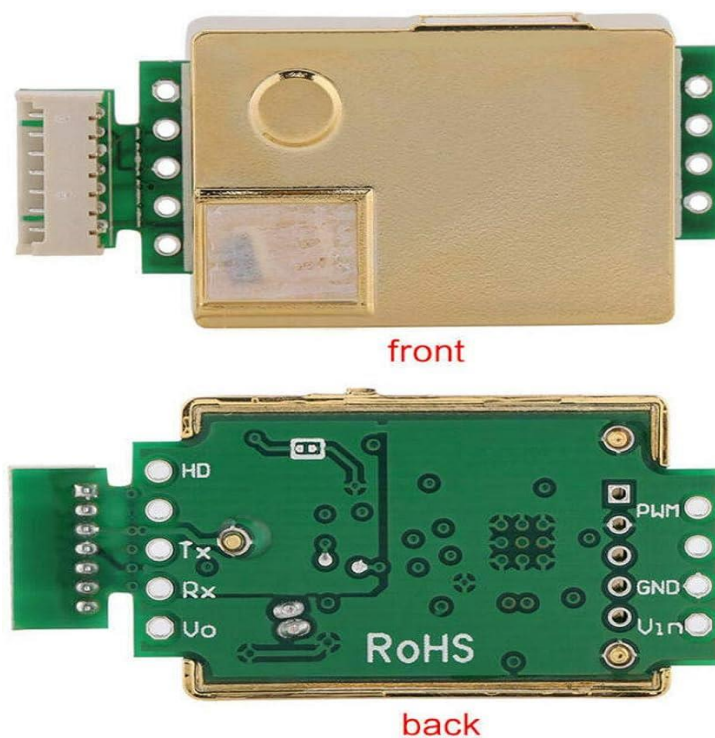


Рисунок 2.5 – Датчик CO₂ МН-Z19В

Х а р а к т е р и с т и к и :

- Тип сенсора: NDIR (інфрачервоний);
- Діапазон вимірювання: 0 – 5000 ppm.
- Точність: $\pm(50 \text{ ppm} + 5\%)$;
- Робоча температура: 0°C – 50°C;
- Час відгуку: < 60 секунд;
- Живлення: 3.6 – 5.5V DC;
- Інтерфейс: UART (TTL) або PWM;

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- Розміри: 33 мм × 20 мм × 9 мм;
- Строк служби: понад 5 років.

DFRobot Gravity: CCS811 / BME680 (рис. 2.6) – це цифровий сенсор для вимірювання летких органічних сполук (TVOC) і рівня еквівалентного CO₂ у повітрі. Завдяки високій чутливості та стабільності він є оптимальним для використання в системах моніторингу якості повітря, зокрема в побутових, офісних, освітніх та екологічних проєктах. Датчик легко інтегрується з Raspberry Pi або Arduino завдяки цифровим інтерфейсам I²C.

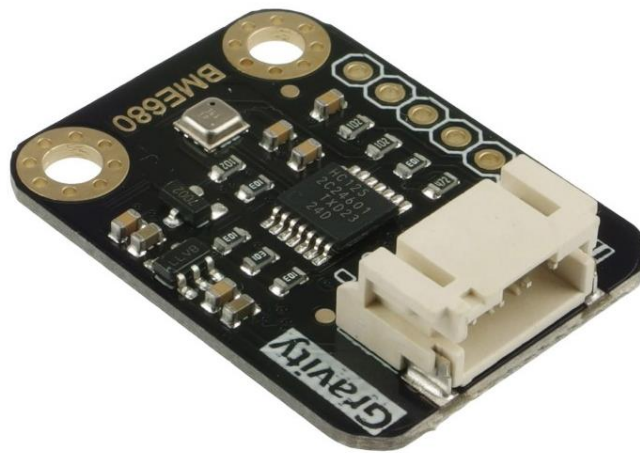


Рисунок 2.6 – Датчик якості повітря CCS811 / BME680

Х а р а к т е р и с т и к и :

- Тип сенсора: Газоаналітичний (МОХ, I²C);
- Вимірювані параметри: TVOC (0–1187 ppb), еквівалентний CO₂ (400–8192 ppm);
- Температурний діапазон: -40°C до +85°C;
- Вологість: 10–95% RH;
- Інтерфейс: I²C;
- Напруга живлення: 3.3–5V DC;
- Час відгуку: <15 секунд;
- Форм-фактор: компактний, модуль із роз'ємом Gravity або Qwiic.

Датчик легко підключається до Raspberry Pi через інтерфейс I²C або SPI. Його тривимірна стабільна калібровка і вбудовані алгоритми компенсації забезпечують високу точність навіть у змінних кліматичних умовах.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Для контролю вологості та температури обрано датчик DHT11 (рис. 2.7). Датчик DHT11 – це цифровий датчик температури та вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході. Складається з ємнісного датчика вологості та термістора. Також, датчик містить в собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості та температури.

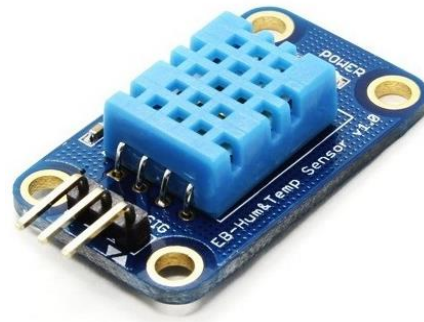


Рисунок 2.7 – Датчик вологості та температури

DHT11 - це цифровий датчик температури і вологості, що дозволяє калібрувати цифровий сигнал на виході. Складається з ємнісного датчика вологості і термістора. Також, датчик містить в собі АЦП для перетворення аналогових значень вологості і температури.

Технічні характеристики:

- Робоча напруга: 3.5-5.5V
- Виявлення діапазон: 20 ~ 90% RH, 0-50 ° C
- Точність: ± 5% відносної вологості; ± 2 ° C
- Дозвіл: 1% RH; 1 ° C
- Частота дискретизації: не більше 1 Гц
- Низьке енергоспоживання
- компактний розмір
- Вага: 5 г.

ZE08-CH2O - це мініатюрний електрохімічний модуль виявлення формальдегіду загального призначення. Він використовує електрохімічний принцип для виявлення CH₂O у повітрі, що забезпечує високу селективність та стабільність модуля (рис. 2.8). Це вбудований датчик температури для

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

компенсації температур. Він має цифровий вихід та аналоговий вихід напруги одночасно. Це поєднання продуманого принципу електрохімічного виявлення та складної схемотехніки. Портативний детектор, монітор якості повітря, очищувач повітря, система оновлення повітря, кондиціонер, розумний дім. Функції: висока чутливість і роздільна здатність, низький рівень споживання енергії, довговічний UART/аналоговий вихід напруги/ШИМ, хороша стабільність, відмінна здатність проти перешкод, компенсація температури, відмінний лінійний вихід.

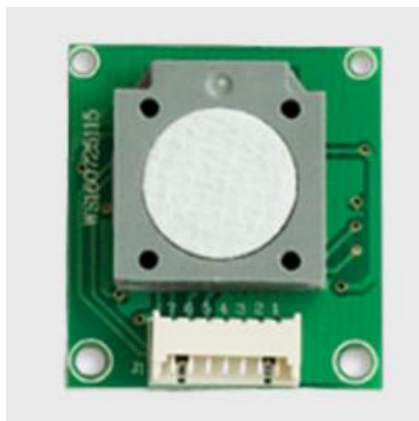
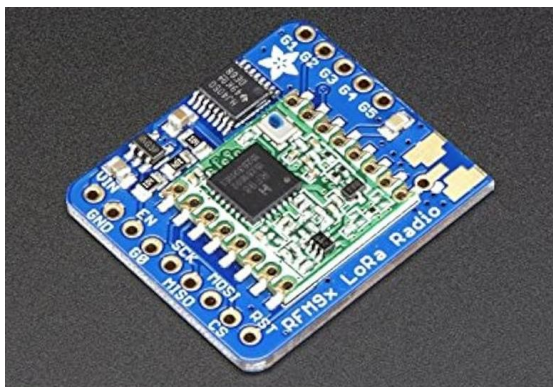
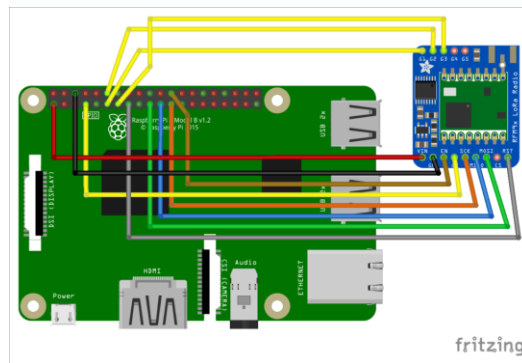


Рисунок 2.8 – Датчик виявлення формальдегіду

Для бездротової передачі даних у віддалених місцях застосовуються модулі LoRa (рис. 2.9).



а



б

Рисунок 2.9 – Модуль LoRa:

а) окремо; б) в поєднанні з Raspberry Pi

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Приймач SX1278 оснащений модемом дальнього радіуса дії LoRa, який забезпечує над широкосмуговий зв'язок з розширеним спектром і високу стійкість при мінімальному споживанні струму. Використовуючи запатентовану Semtech техніку модуляції LoRa, SX1278 може досягти чутливості понад -148 дБм, використовуючи недорогі мікросхеми та супутні комплектуючі. Висока чутливість в поєднанні з вбудованим підсилювачем потужності +20 дБм забезпечує кращий в галузі бюджет каналу зв'язку, що робить його оптимальним для будь-якого застосування, що вимагає частотного діапазону або надійності. LoRa-модуль також забезпечує переваги як в блокуванні, так і в вибірковості в порівнянні з традиційними методами модуляції, вирішуючи традиційний компромісний задум між діапазоном, стійкістю до перешкод та споживанням енергії.

Х а р а к т е р и с т и к и :

- Метод модуляції: FSK/GFSK, LoRa.
- Тип зв'язку: напівдуплексних зв'язок.
- Робоча частота: 433 МГц.
- Відхилення каналу (ADJ): 56 dBm.
- Чутливість RX: -148 dBm.
- Робочий діапазон: ISM multiband.
- Інтелектуальне скидання, монітор низької напруги, синхронний wakeup, режим низької потужності, режим сну.
- Енергоспоживання в режимі прийому: 12 ~ 13 мА.
- Внутрішній буфер: 256 байт FIFO TX/RX.
- Виявлення сигналу каналу передачі даних: ISSI.
- Режим передачі: FIFO/прямий режим (рекомендований режим пакета FIFO).

Варіанти конфігурації: AFC; пробудження при наявності радіосигналу; зниження споживаної потужності; виявлення несучої; FEC корекція помилок; ЕС шифрування.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.10 – Модем LoRa

LG01N та OLG01N – це одноканальний шлюз LoRa з відкритим кодом (рис. 2.10). Він дозволяє з'єднувати бездротову мережу LoRa з IP-мережею через WiFi, Ethernet, стільниковий зв'язок 3G або 4G. Бездротовий зв'язок LoRa дозволяє користувачам надсилати дані та досягати надзвичайно великих відстаней з низькою швидкістю передачі даних. Він забезпечує наддалекий зв'язок з розширеним спектром та високу стійкість до перешкод. LG01N та OLG01N мають розширений спектр підключення до Інтернету, такий як інтерфейс WiFi, порт Ethernet та стільниковий зв'язок 3G/4G. Ці інтерфейси забезпечують гнучкі методи для користувачів підключення своїх сенсорних мереж до Інтернету. LG01N та OLG01N можуть підтримувати протокол LoRaWAN в одній частоті та налаштований протокол переходу LoRa. LG01N може використовуватися для забезпечення недорогого бездротового рішення Інтернету речей для підтримки 50~100 сенсорних вузлів. За винятком обмеженого режиму LoRaWAN, LG01N може підтримувати кілька режимів роботи, таких як: режим MQTT, режим клієнта TCP/IP, щоб відповідати різним вимогам до підключення Інтернету речей. LG01N та OLG01N забезпечують низьку вартість підключення до вашої мережі Інтернету речей.

Для локального виводу даних у системі можна використовувати дисплеї OLED (0.96", 128x64, I2C), LCD1602 (I2C) або кольорові TFT-екрани з тачскріном. В такому випадку система може працювати автономно навіть без підключення до інтернету.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, додаткові компоненти системи моніторингу повітря не тільки розширюють її можливості, але й забезпечують надійність, гнучкість і ефективність реагування в режимі реального часу.

2.3 Алгоритмічна модель роботи системи збору параметрів повітря

Розроблена система моніторингу параметрів якості повітря наведена на рисунку 2.11.

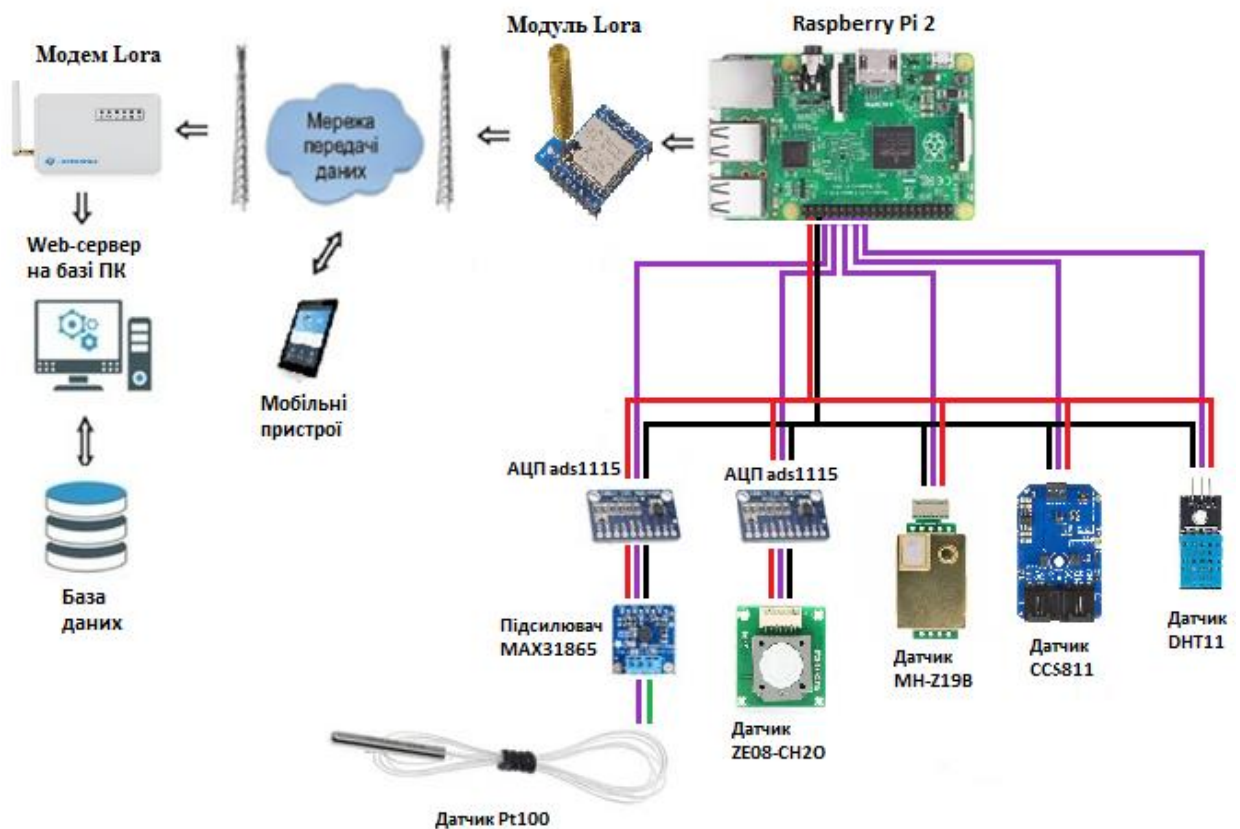


Рисунок 2.11 – Функціональна схема системи моніторингу параметрів повітря

У процесі контролю параметрів повітряного середовища датчики розміщуються у заздалегідь визначених локаціях — як на відкритих територіях, так і в приміщеннях або на мобільних носіях. Залежно від типу вихідного сигналу (аналоговий, цифровий, UART, I²C), дані з первинних перетворювачів надходять до одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, який виконує функції базової обчислювальної платформи.

Після первинного збору, дані проходять процес оцифрування та обробки відповідно до попередньо реалізованого програмного алгоритму, написаного мовами високого рівня, зокрема Python або C++. Паралельно з цим значення поточних параметрів архівуються у внутрішній пам'яті системи та, за необхідності, можуть виводитися на локальний дисплей за допомогою людино-машинного інтерфейсу (не зображено на рисунку).

Ключові показники якості атмосферного повітря також передаються бездротовим шляхом через маршрутизатор на LoRa-модем, який забезпечує подальший вихід до глобальної мережі Інтернет. Звідти інформація надходить на віддалений сервер, де проходить додаткову обробку, архівування та зберігання. Серверна інфраструктура також забезпечує віддалений доступ до системи моніторингу та візуалізації даних на контрольних постах.

Алгоритм автоматизованого вимірювання параметрів повітряного середовища із застосуванням бездротової передачі даних розглядається у контексті структурної схеми роботи системи, представленої на рисунку 2.12.

Алгоритм функціонування локального сегмента комп'ютеризованої системи операторського моніторингу якості повітря розпочинається з етапу перевірки конфігурації, у ході якого здійснюється ініціалізація одноплатного комп'ютера Raspberry Pi та підключених сенсорних модулів. До складу сенсорного комплексу можуть входити датчики концентрації CO₂, PM2.5, PM10, TVOC, температури, вологості тощо. Ініціалізація виконується згідно з визначеним порядком, що дозволяє, за результатами первинного аналізу, здійснювати необхідне коригування параметрів системи.

Відповідно до поставлених завдань визначається конфігурація кожного сенсорного елемента з можливістю операторського втручання у параметри програмного забезпечення, що реалізоване на одноплатному комп'ютері. Після завершення налаштування система переходить до стадії збору та обробки даних.

Обробка команд включає послідовну верифікацію технічних параметрів: швидкості обміну, коду операції, адреси сенсора, контрольної суми (якщо передбачено протоколом), правильності виконання запиту та повноти

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

отриманих даних. За умови дотримання всіх критеріїв, процес збору вважається успішно завершеним. Зібрана інформація зберігається у локальній базі даних та використовується для розрахунку інтегральних екологічних показників, що характеризують стан повітряного середовища. Завершальним етапом є передача оброблених даних до глобальної мережі Інтернет, з подальшою доставкою інформації на віддалений сервер для архівації та відображення в інтерфейсах системи моніторингу.

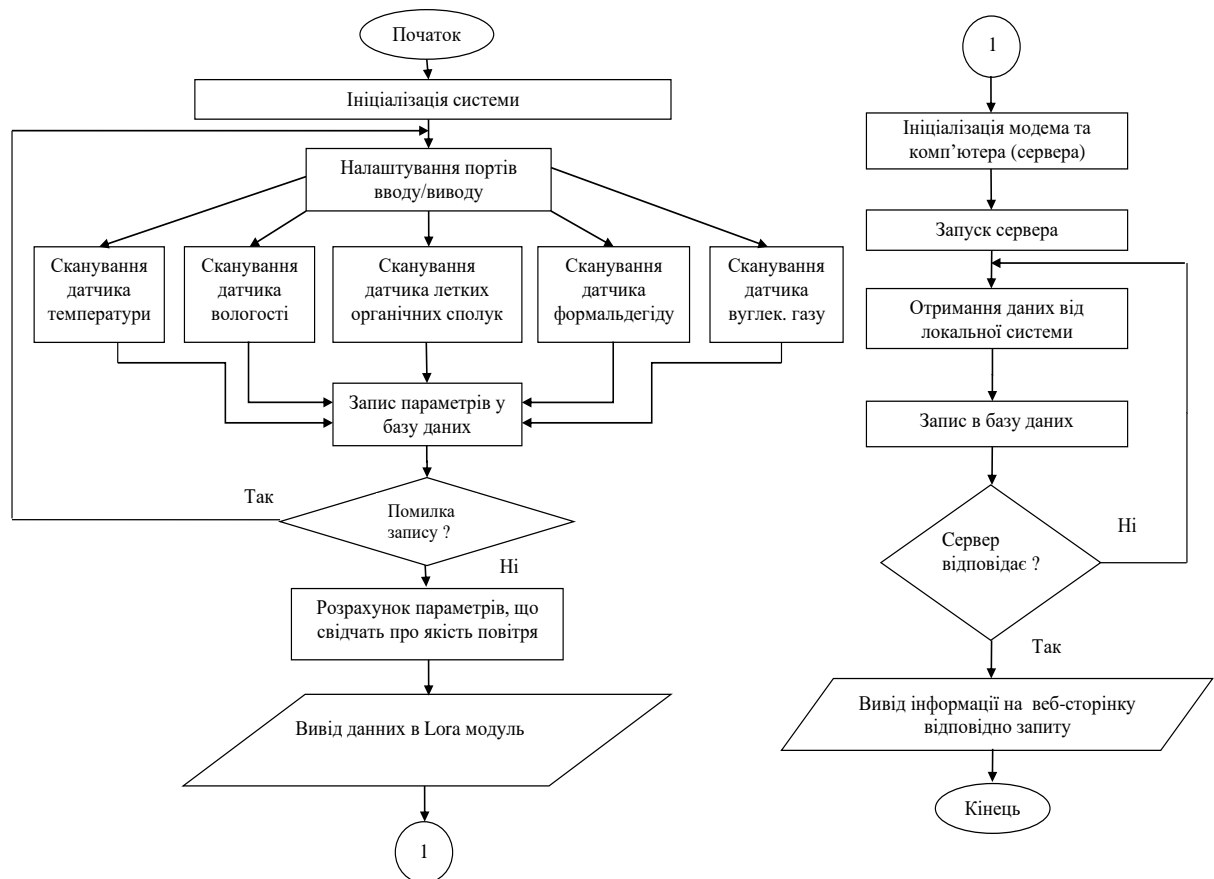


Рисунок 2.12 – Алгоритм роботи системи збору параметрів повітря

Алгоритм функціонування віддаленого сегмента комп'ютеризованої системи моніторингу якості повітря

Функціонування віддаленої частини комп'ютерної системи екологічного моніторингу починається з етапу ініціалізації сервера, на якому розгорнуто спеціалізоване програмне забезпечення для обробки, візуалізації та архівації екологічних даних. В операційному середовищі сервера попередньо

конфігурується веб-консоль доступу, що реалізується через протокол HTTP(S) і забезпечує інтерактивний доступ користувача до веб-інтерфейсу за допомогою стандартного браузера.

Після встановлення з'єднання між клієнтським пристроєм (смартфоном, ноутбуком, планшетом тощо) та сервером, активується людино-машинний інтерфейс, який забезпечує динамічне відображення параметрів якості повітря в реальному часі. У разі відсутності стабільного зв'язку система автоматично ініціює повторні запити до сервера з метою забезпечення безперервного доступу до актуальної інформації.

Архітектура програмно-апаратної частини передбачає функціонування одноплатного комп'ютера Raspberry Pi, який виконує роль локального вузла збору та попередньої обробки даних. На першому етапі його роботи здійснюється завантаження операційної системи та конфігурація периферійних інтерфейсів, зокрема портів введення/виведення, необхідних для взаємодії з сенсорними пристроями. Після ініціалізації Raspberry Pi здійснює опитування сенсорів, відповідальних за вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO₂), дрібнодисперсного пилу (PM2.5, PM10), летких органічних сполук (TVOC), а також температури, вологості й інших параметрів мікроклімату.

Отримані результати зчитування формалізуються у вигляді структурованих записів та заносяться до локальної бази даних, реалізованої, наприклад, на основі MySQL. Надалі відбувається взаємодія веб-сервера з базою даних, у процесі якої формуються динамічні сторінки для відображення актуальних значень параметрів повітряного середовища. Завдяки використанню web-технологій користувач має змогу переглядати інформацію з будь-якого пристрою, підключеного до інтернету, у зручному інтерфейсі з можливістю фільтрації та сортування даних за часом чи категоріями.

Крім того, архітектура системи підтримує функціональність зворотного зв'язку, яка забезпечує локальне керування виконавчими пристроями (системами вентиляції, фільтрації повітря тощо) безпосередньо через Raspberry Pi на основі запрограмованих сценаріїв або вручну через веб-інтерфейс. Такий

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

підхід забезпечує не лише високу гнучкість у конфігуруванні системи, а й суттєве зниження експлуатаційних витрат, підвищення надійності контролю та можливість оперативного реагування на погіршення показників якості повітря.

Упровадження такої технології дозволяє ефективно реалізувати концепцію розподіленого моніторингу повітряного середовища, забезпечуючи масштабованість, інтероперабельність та інтеграцію із сучасними інформаційними інфраструктурами в галузі охорони навколишнього середовища.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

3 ПРОГРАМУВАННЯ СИСТЕМИ ЗБОРУ ПАРАМЕТРІВ ПОВІТРЯ

3.1 Використані програмні бібліотеки та мова програмування для реалізації системи збору параметрів повітря

Мова програмування виступає як формалізований інструмент комунікації між людиною та комп'ютерною системою, що дозволяє описати алгоритм розв'язання поставленої задачі в термінах, зрозумілих обом сторонам. Вона визначає правила, за якими розробник формулює інструкції для виконання машинними засобами, забезпечуючи тим самим процес автоматизованої обробки даних.

Залежно від рівня абстракції щодо апаратного забезпечення, мови програмування прийнято класифікувати на низькорівневі та високорівневі. До низькорівневих відносять мови, максимально наближені до машинного коду, що безпосередньо відповідає інструкціям процесора. Такі мови вимагають глибокого розуміння архітектури комп'ютера та маніпулювання ресурсами на апаратному рівні.

У свою чергу, високорівневі мови програмування орієнтовані на зручність людини й використовують абстракції, наближені до природної мови. Їхні синтаксичні конструкції полегшують читання, написання та підтримку коду. Перетворення інструкцій високорівневої мови на машинний код здійснюється за допомогою спеціальних програмних засобів — компіляторів або інтерпретаторів, які автоматично виконують відповідну трансляцію.

Переважає більшість сучасних мов програмування належить до високорівневих, що значною мірою спрощує процес навчання й дозволяє зосередитись на логіці та структурі розв'язуваної задачі, без необхідності глибокого занурення в технічні аспекти функціонування апаратної частини обчислювальної системи.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

JavaScript є однією з найважливіших мов програмування сучасної веб-розробки. Вона відіграє ключову роль у створенні інтерактивних та динамічних веб-інтерфейсів. Вперше мова з'явилася у 1995 році як розробка компанії Netscape. Спочатку JavaScript призначалася для незначних маніпуляцій із веб-сторінками, але з часом вона еволюціонувала у повноцінне інструментальне середовище для створення масштабних застосунків як на клієнтській, так і на серверній стороні.

JavaScript є інтерпретованою, динамічно типізованою та мультипарадигмальною мовою, що дозволяє використовувати різні стилі програмування — від процедурного до функціонального й об'єктно-орієнтованого. Її архітектура передбачає подієво-орієнтовану модель виконання, яка забезпечує ефективну роботу з асинхронними процесами та реагуванням на зовнішні події, що особливо важливо для взаємодії з користувачем у режимі реального часу.

Синтаксис JavaScript є гнучким та зручним у використанні. Мова має потужний інструментарій для роботи з функціями, об'єктами, класами, модулями, а також підтримує сучасні конструкції, що відповідають специфікаціям останніх версій стандарту ECMAScript. Це дозволяє розробникам ефективно реалізовувати як прості скрипти, так і складні програмні архітектури.

Середовищем виконання JavaScript зазвичай виступає рушій браузера, однак завдяки появі Node.js, мову було інтегровано у серверну розробку. Це дозволяє реалізовувати повноцінні серверні застосунки, обробляти запити, взаємодіяти з базами даних, керувати файловою системою тощо. Крім традиційного веб-середовища, JavaScript активно використовується у створенні мобільних додатків, програмного забезпечення для Інтернету речей, а також у розробці десктопних застосунків.

Незважаючи на широкі можливості, JavaScript має низку особливостей, що вимагають уваги до питань безпеки. Наприклад, відкрите виконання коду

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

на стороні клієнта підвищує ризики атак типу XSS, тому застосування відповідних захисних механізмів є обов'язковим етапом розробки.

У бібліотеці React, яка є популярним інструментом для побудови інтерфейсів користувача в односторінкових веб-застосунках, фундаментальним елементом архітектури виступає компонент. Компоненти в React слугують базовими будівельними блоками інтерфейсу, дозволяючи розділити складну структуру сторінки на логічно ізольовані, повторно використовувані частини з власним станом і поведінкою.

Кожен компонент у React являє собою програмний модуль, який реалізує певну частину користувацького інтерфейсу, описуючи як вигляд (візуальне представлення), так і логіку взаємодії. Компоненти створюються за допомогою синтаксису JavaScript, з використанням JSX (JavaScript XML) – розширення мови, яке дозволяє комбінувати логіку та HTML-подібну розмітку в межах одного файлу.

Залежно від способу оголошення та рівня складності, компоненти React класифікуються на функціональні та класові. Функціональні компоненти є простими функціями, що приймають вхідні параметри (відомі як props) і повертають елементи інтерфейсу. Починаючи з появи React Hooks, функціональні компоненти також отримали змогу керувати внутрішнім станом (state) та виконувати побічні ефекти (side effects), що значно розширило їхні можливості.

Класові компоненти, які ґрунтуються на об'єктно-орієнтованому підході, створюються шляхом наслідування від базового класу React.Component. Вони забезпечують повну підтримку внутрішнього стану, життєвого циклу компонента та складнішої логіки, проте з розвитком React-хуків їх використання поступово зменшується на користь більш лаконічних функціональних компонентів.

Іншою важливою характеристикою компонентної моделі React є принцип односпрямованого потоку даних, за якого властивості передаються від батьківських компонентів до дочірніх. Такий підхід сприяє передбачуваності

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

логіки програми та полегшує процес налагодження. Крім того, React підтримує повторне використання компонентів, що сприяє модульності, гнучкості та масштабованості при розробці складних інтерфейсів.

У результаті компонентний підхід у React забезпечує високий рівень абстракції, дозволяє ефективно управляти станом застосунку, спрощує процес розробки та тестування, а також відповідає сучасним принципам побудови реактивних і адаптивних веб-інтерфейсів.

Material-UI (тепер – MUI) є популярною бібліотекою компонентів інтерфейсу, створеною для екосистеми React. Вона базується на принципах дизайну Material Design, розроблених компанією Google, і забезпечує розробників потужним та гнучким набором інструментів для побудови сучасних, естетично привабливих і функціональних вебінтерфейсів.

Material-UI надає стандартизований підхід до створення компонентів, що відповідають єдиній візуальній стилістиці та поведінці. Такий підхід суттєво спрощує розробку UI-застосунків, особливо в умовах великих проєктів, де критично важливо дотримання єдності дизайну, модульності та підтримуваності коду. Кожен компонент в бібліотеці має власну функціональну та візуальну реалізацію, але водночас залишається повністю інтегрованим у загальну структуру React-додатку.

На відміну від ручного стилювання за допомогою CSS, Material-UI використовує CSS-in-JS підхід, що дозволяє оголошувати стилі безпосередньо в JavaScript-коді компонента. Така технологія забезпечує локальність стилів, кращу підтримку темування та легше динамічне налаштування інтерфейсу. Крім того, підтримка тем та кастомізації в MUI дозволяє адаптувати візуальні елементи до конкретних потреб або брендового стилю продукту без необхідності глибокої переробки архітектури UI.

У структурі бібліотеки міститься велика кількість попередньо створених елементів інтерфейсу, таких як кнопки, панелі навігації, діалогові вікна, форми введення, таблиці, меню тощо. Всі вони відповідають гайдлайнам Material

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Design, що забезпечує їхню узгоджену візуальну поведінку та адаптивність до різних розмірів екранів.

Важливою особливістю є повна інтеграція з React-екосистемою. Компоненти MUI можуть взаємодіяти з React-хуками, контекстами та системами керування станом, що робить їх придатними як для простих, так і для складних проєктів. При цьому система побудована на модульних принципах, що дозволяє використовувати лише ті частини бібліотеки, які необхідні в межах конкретного застосунку.

Таким чином, Material-UI є ефективним інструментом для створення професійних вебінтерфейсів, який поєднує переваги компонентного підходу React із візуальною строгістю та практичною зручністю Material Design. Його застосування значно підвищує швидкість розробки, полегшує забезпечення уніфікації інтерфейсу та сприяє підвищенню загальної якості користувацького досвіду.

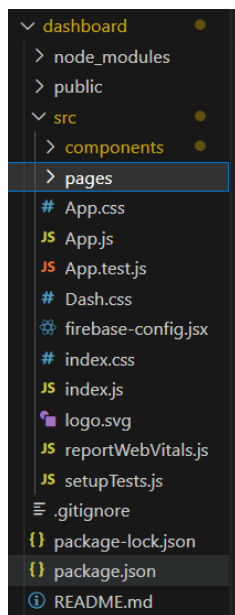
3.2 Розробка компонентів веб платформи системи збору параметрів повітря

На початковому етапі розробки вебзастосунку, що базується на бібліотеці React, виконується створення нового проєкту за допомогою інструменту командного рядка шляхом запуску відповідної команди ініціалізації `npm create react app` (рис. 3.1). Ця процедура автоматично формує структуру файлової системи застосунку, включаючи базові конфігураційні файли, каталоги компонентів та початковий код інтерфейсу користувача.

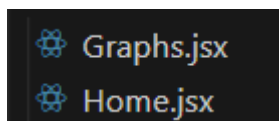
Після завершення ініціалізації проєкту здійснюється побудова логічної структури застосунку через розробку окремих React-компонентів, які відповідають ключовим сторінкам вебплатформи. Зокрема, реалізуються компоненти `Home.jsx`, що відповідає за відображення головної сторінки, та `Graphs.jsx`, призначений для візуалізації статистичних даних (рис. 3.1). Таке

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

розділення компонентів забезпечує структурованість коду, спрощує супровід і підвищує модульність усього програмного середовища.



а



б

```
import React from 'react'
import Sidenav from '../components/Sidenav.jsx';
import Box from '@mui/material/Box';

export default function Graphs() {
  return [
    <Box sx={{ display: 'flex' }}>
    </Box>
  ]
}
```

в

Рисунок 3.1 – Основні компоненти програми:

- а) директорія створеного застосунку; б) створені компоненти сторінок;
- в) приклад коду компоненту сторінки.

Після реалізації основних структурних компонентів вебзастосунку наступним етапом розробки є створення компонента Sidenav, який виконує функцію бічної панелі навігації між логічними сторінками застосунку. Для побудови інтерфейсної частини цього компонента використовується бібліотека Material UI, яка надає набір адаптивних та стилістично уніфікованих елементів відповідно до принципів дизайну Material Design. Застосування зазначеної бібліотеки дозволяє досягти високої візуальної відповідності сучасним стандартам UI/UX та забезпечити зручність взаємодії з користувачем.

Наступним логічним кроком у розробці є реалізація навігаційної логіки між створеними сторінками інтерфейсу. Для цього до проєкту інтегрується бібліотека react-router-dom, що забезпечує функціональність маршрутизації у межах односторінкового застосунку на основі React. Встановлення бібліотеки здійснюється за допомогою команди `npm install react-router-dom` (рис. 3.2). Її

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

використання дозволяє налаштувати маршрути, пов'язані з відповідними компонентами, та організувати перемикання між ними без необхідності перезавантаження сторінки, що відповідає концепції SPA (Single Page Application) і сприяє підвищенню продуктивності та інтерактивності застосунку.

```
dashboard > src > JS App.js > ...
1  import React from 'react';
2  import {Routes, Route, BrowserRouter} from 'react-router-dom';
3  import Home from './pages/Home';
4  import Graphs from './pages/Graphs';
5  import Statistics from './pages/Statistics';
6  import './Dash.css';
7
8  function App() {
9    return (
10     <>
11     <BrowserRouter>
12     <Routes>
13     <Route path="/" exact element={<Home />}></Route>
14     <Route path="/graphs" exact element={<Graphs />}></Route>
15     <Route path="/statistics" exact element={<Statistics />}></Route>
16     </Routes>
17     </BrowserRouter>
18     </>
19   );
20 }
21
22 export default App;
23
```

Рисунок 3.2 – Навігація між сторінками react-router

Після завершення етапу налаштування навігаційної системи інтерфейсу користувача, наступним кроком є розробка функціональних компонентів, що забезпечують відображення даних моніторингу на екрані. Це є важливим етапом реалізації інтерфейсу, оскільки саме через ці компоненти користувач отримує доступ до візуалізованої інформації, що стосується стану системи або вимірюваних параметрів. Відповідну структуру компонування представлено на рисунку 3.3.

Першим із реалізованих елементів є компонент Comp.jsx, який виконує роль інформаційної картки. Цей компонент відображає окремий показник моніторингу (наприклад, температуру, вологість, рівень тиску тощо) у вигляді окремого візуального блоку, що містить назву параметра, його поточне значення та, за потреби, одиницю виміру.

```

dashboard > src > components > Compjsx > ...
1  import React from 'react';
2  import Typography from '@mui/material/Typography';
3  import Card from '@mui/material/Card';
4  import CardContent from '@mui/material/CardContent';
5  import './Dash.css';
6
7  export default function Comp (props) {
8    return (
9    <Card sx={{ minWidth: 260 }} className={props.style}>
10   <CardContent>
11     <div>
12       {props.icon}
13       <Typography gutterBottom variant="body2" color="text.secondary" sx={{ color: "#000000"}}>
14         {props.name}
15       </Typography>
16       <Typography
17         gutterBottom
18         variant="body2"
19         component="div"
20         sx={{ color: "#676b6a"}}
21       >
22         {props.data}
23       </Typography>
24     </div>
25   </CardContent>
26 </Card>
27 )
28 }

```

Рисунок 3.3 – Код розробленого компоненту

Використовуючи одну з ключових концепцій бібліотеки React, а саме її модульну архітектуру, було реалізовано компонент таблиці, який складається з окремих інформаційних карток, кожна з яких відповідає за відображення одного з вимірюваних параметрів (рис. 3.4).

Завдяки модульності React, кожен компонент може бути ізольовано спроектований, протестований та повторно використаний у різних частинах застосунку. Це дозволило сформувати узагальнений контейнер для розміщення карток, в якому кожен блок (параметр) має власну структуру та логіку, зберігаючи при цьому єдину стилістичну й функціональну цілісність у межах загального інтерфейсу.

З метою покращення зручності сприйняття інформації, окремі картки з вимірюваними параметрами було структуровано у вигляді таблиці, реалізованої у межах окремого компонента Dash.jsx. Такий підхід сприяє впорядкованому розміщенню елементів на сторінці, забезпечуючи логічну та візуальну організацію вмісту.

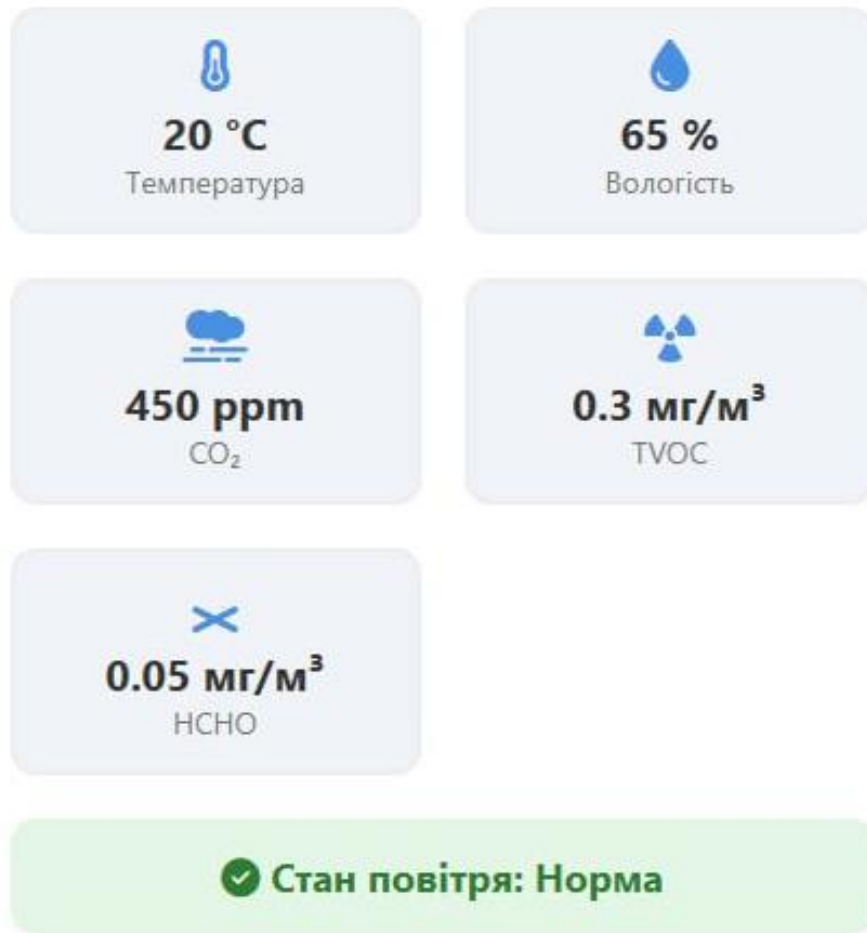


Рисунок 3.4 – Модульність React

Для візуального розмежування та зменшення навантаження на зір користувача, було впроваджено два варіанти кольорового оформлення карток, які чергуються у шаховому порядку. Це рішення підвищує читабельність даних, дозволяє швидше ідентифікувати окремі блоки інформації, а також додає інтерфейсу сучасного та естетично збалансованого вигляду.

На наступному етапі реалізовано функціональність відображення графічної візуалізації вимірюваних даних, яка буде розміщена на окремій сторінці інтерфейсу під назвою «Статистика». Для побудови графіків використано бібліотеку Recharts, яка забезпечує зручні засоби створення адаптивних, інтерактивних та стилізованих графіків (рис. 3.5).

Динаміка параметрів повітря

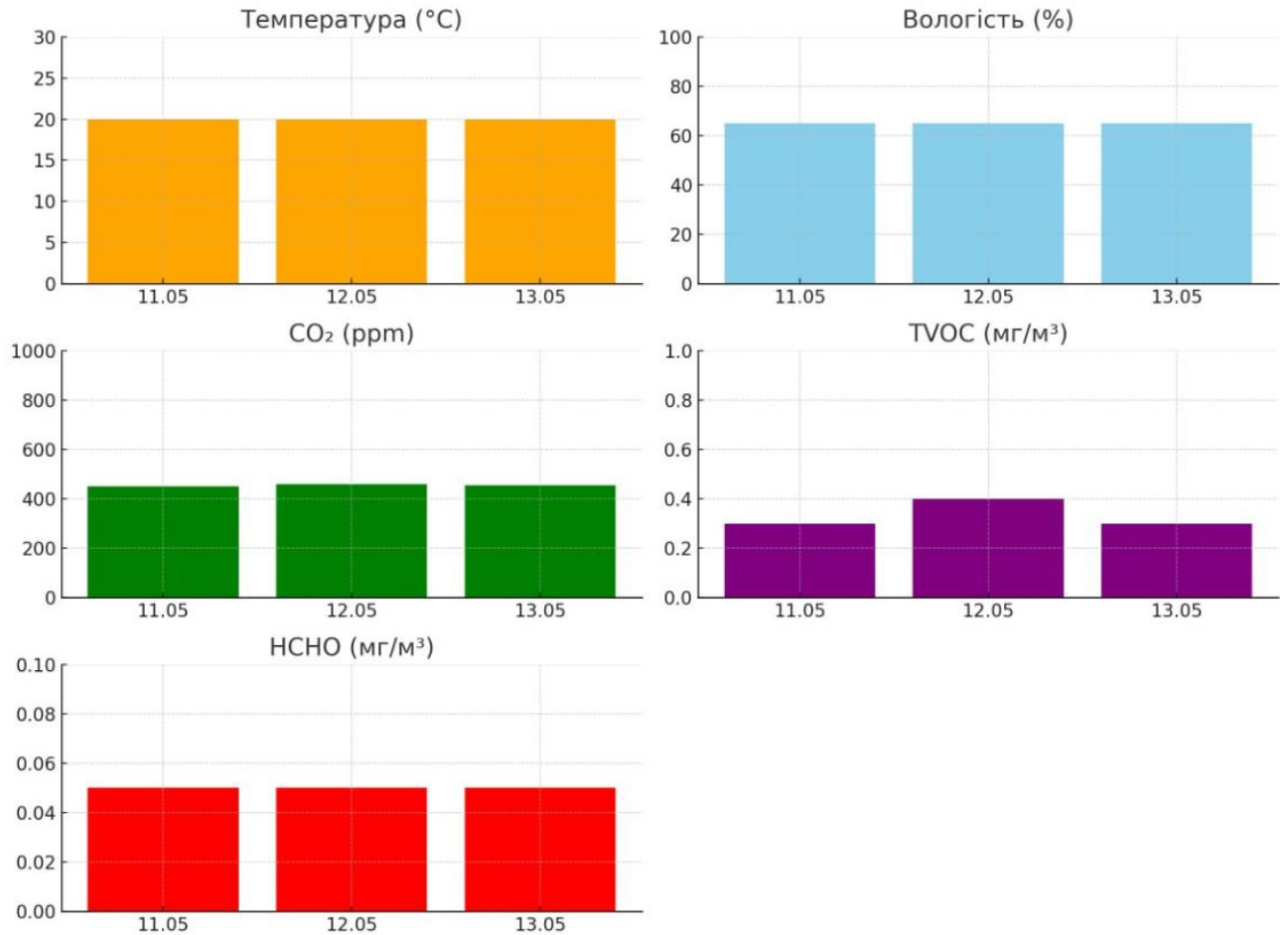


Рисунок 3.5 – Основні параметри повітря

Використання графічного представлення дозволяє користувачеві не лише сприймати поточні значення параметрів, але й аналізувати їх динаміку в часі, виявляти тренди, а також приймати обґрунтовані рішення на основі візуалізованих даних.

3.3 Розробка бази даних для інформаційної системи збору параметрів повітря

Firestore – це комплексна платформа для розробки мобільних та вебзастосунків, створена компанією Firebase Inc., Завдяки широкому спектру сервісів і інструментів, Firestore забезпечує розробникам можливість

зосередитися на створенні функціональності додатка, мінімізуючи витрати часу на побудову серверної інфраструктури. Однією з ключових переваг Firebase є його модульна архітектура. Платформа надає низку сервісів, серед яких можна виділити Firebase Authentication, Cloud Firestore, Realtime Database, Firebase Hosting, Firebase Cloud Messaging та інші. Завдяки інтеграції з Google Cloud, Firebase забезпечує високу масштабованість і надійність, що особливо важливо при створенні продуктів з великою кількістю користувачів. Firebase Authentication дозволяє швидко впроваджувати механізми автентифікації з використанням електронної пошти, соціальних мереж або сторонніх постачальників, що значно полегшує управління користувачами. Cloud Firestore і Realtime Database забезпечують хмарне зберігання та синхронізацію даних у реальному часі, що є критично важливим для інтерфейсів з динамічними змінами даних.

Інструменти Firebase також включають можливості для аналітики, тестування, хостингу та розгортання, що робить цю платформу особливо привабливою для стартапів і невеликих команд розробників, які прагнуть швидко вивести продукт на ринок.

Таким чином, Firebase виступає універсальним інструментом для побудови повноцінних мобільних та вебзастосунків, поєднуючи в собі як фронтенд, так і бекенд-функціональність. Його широке застосування в освітніх проєктах, стартапах та навіть у корпоративному секторі підтверджує ефективність і надійність цієї платформи.

Для реалізації ефективної серверної логіки, зберігання даних та синхронізації в реальному часі розробники дедалі частіше використовують платформу Firebase. Цей інструмент від компанії Google надає широкий спектр можливостей для підтримки мобільних та вебзастосунків, зокрема через такі сервіси, як Cloud Firestore, Realtime Database, Firebase Authentication та Firebase Hosting.

Підключення Firebase до основного програмного проєкту є структурованим процесом (рис. 3.6).

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Після завершення цих етапів розробник отримує доступ до розширеної функціональності, включно з аналітикою, відправленням push-повідомлень та мониторингом стабільності додатку. У науково-технічній документації зазвичай демонструється архітектура інтеграції Firebase, яка ілюструє взаємозв'язок між клієнтською частиною додатку та хмарними сервісами платформи.

```
dashboard > src > firebase-config.jsx > ...
1 // Import the functions you need from the SDKs you need
2 import { initializeApp } from "firebase/app";
3 import { getAnalytics } from "firebase/analytics"; 'getAnalytics' is defined but never used.
4 import { getFirestore } from "firebase/firestore";
5 // Add SDKs for Firebase products that you want to use
6 // https://firebase.google.com/docs/web/setup#available-libraries
7
8 // Your web app's Firebase configuration
9 // For Firebase JS SDK v7.20.0 and later, measurementId is optional
10 const firebaseConfig = {
11   apiKey: "AIzaSyCjCnWVTJHskwuY3CYH5ooM0UeCLKKJ2rU",
12   authDomain: "air-ecology.firebaseio.com",
13   projectId: "air-ecology",
14   storageBucket: "air-ecology.appspot.com",
15   messagingSenderId: "279253938494",
16   appId: "1:279253938494:web:6530391389b1e9a1403c6f",
17   measurementId: "G-3N67KVDV78"
18 };
19
20 // Initialize Firebase
21 const app = initializeApp(firebaseConfig);
22 export const db = getFirestore(app);
```

Рисунок 3.6 – Код налаштування Firebase для проекту

Таким чином, використання Firebase у розробці мобільних застосунків сприяє не лише покращенню технічних характеристик продукту, а й підвищенню його конкурентоспроможності через зручний доступ, швидку індексацію та інтеграцію з інноваційними інструментами, такими як Android Instant App. Код реалізації бази даних представлений на рисунку 3.7.

У рамках розробки програмного забезпечення важливим етапом є організація доступу до релевантних даних, які зберігаються у віддаленій або локальній базі даних. Одним із поширених підходів є реалізація пошуку записів

за унікальним ідентифікатором (ID), що забезпечує точність та швидкодію запитів.

```
1 import { useEffect, useState } from "react"; 'useE
2 import { db, storage } from "../config/firebase";
3 import "../App.css";
4 import {
5   getDocs,
6   collection,
7 } from "firebase/firestore";
8 import { ref, uploadBytes } from "firebase/storage";
9
10 function BaseApp() { 'BaseApp' is defined but neve
11   const [datalist, setDataList] = useState([]); 'c
12
13   const dataCollectionRef = collection(db, "data");
14
15   const getDataList = async () => { 'getDataList'
16     try {
17       const data = await getDocs(dataCollectionRef);
18       const filteredData = data.docs.map((doc) => ({
19         ...doc.data(),
20         id: doc.id,
21       }));
22       setDataList(filteredData);
23     } catch (err) {
24       console.error(err);
25     }
26   }
27 }
```

Рисунок 3.7 – Код реалізації бази даних

У розглянутому програмному модулі реалізовано функціонал пошуку об'єкта в базі даних на основі заданого ідентифікатора. Після успішного виконання запиту, відповідні дані з вибраного об'єкта передаються у змінну setDataList. Ця змінна слугує для подальшого збереження й опрацювання отриманої інформації в межах застосунку. Такий підхід є ефективним з точки зору динамічного оновлення інтерфейсу користувача на основі актуальних даних, отриманих із бази.

Окрім технічної реалізації, у дослідженні було проведено збір статистичних результатів, що демонструють ефективність пошуку та обробки даних за визначений період. У таблиці 3.1 представлено узагальнені результати за один рік функціонування системи, що дозволяє оцінити її стабільність, продуктивність і надійність у реальних умовах експлуатації.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Таблиця 3.1 – Параметри якості повітря за 1 рік

Показники	Од.вим.	ГДК	за рік		
			Макс.	Мінім.	Серед.
Температура	град.С	-	39,3	-8,6	13,5
Вологість	%	40–60	82	50	68
CO ₂	ppm	<1000	231	216	223,5
TVOC	мг/м ³	≤0,60	0,125	0,013	0,038
НСНО	мг/м ³	≤0,10	0,37	0,074	0,185

Отже була розроблена та реалізована веб платформа для виводу даних інформаційно-вимірювальної системи, яка містить базу даних для накопичення інформації, щодо параметрів якості повітря.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломного проекту було спроектовано та реалізовано інформаційну систему для моніторингу параметрів якості повітря із використанням платформи Raspberry Pi. Основною метою розробки є створення надійного, доступного та масштабованого рішення для збору, обробки та візуалізації екологічних даних у реальному часі, що є особливо актуальним в умовах зростаючого рівня забруднення навколишнього середовища.

Розроблена IoT-система забезпечує низку функціональних можливостей, а саме:

- збирання актуальних даних про стан повітря з підключених сенсорів;
- забезпечення постійного контролю за якістю повітря в заданому середовищі або на цільовому об'єкті;
- оперативне виявлення та реагування на погіршення екологічних параметрів;
- здійснення дистанційного контролю та доступу до даних через Інтернет за допомогою веб-інтерфейсу.

Технічно система реалізована у вигляді апаратно-програмного комплексу, основу якого становить одноплатний комп'ютер Raspberry Pi моделі В+. В якості серверної частини використано вбудований веб-сервер, що забезпечує комунікацію між сенсорними модулями та користувацьким інтерфейсом. Особливу увагу приділено розробці людино-машинного інтерфейсу, що дозволяє зручно відображати екологічні параметри, здійснювати перегляд історичних даних та налаштування порогових значень для автоматичних повідомлень. Загалом система підтримує опитування датчиків у режимі реального часу, зберігає отримані дані у базі.

Розроблена система може бути легко адаптована для використання в навчальних, науково-дослідних або екологічних проєктах, а також інтегрована в системи моніторингу навколишнього середовища а також інтегрована в системи моніторингу навколишнього середовища.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Індекс якості повітря. URL: <https://ukraine-oss.com/indeks-yakosti-povitrya-yakuj-mehanizm-vyznachennya-ta-poryadok-informuvannya-naselennya/>
2. Шевчук, В. Я., Саталкін, Ю. М., Білявський, Г. О. та ін. Екологічне управління: Підручник. 2004, 432 с. Київ: Либідь.
3. Шевчук, В. Я., Щербак, Ю. М., Кухар, В. П. та ін. Національна екологічна політика України: оцінка і стратегія розвитку. 2007. Київ: ПРООН Україна.
4. Величко, Д. Система моніторингу якості повітря в приміщеннях [Автореферат дисертації]. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2022.
5. Основні параметри та фізичні властивості повітря. URL: <https://studfile.net/preview/7292540/page:2/> (дата звернення травень 2025р).
6. Сонячна радіація. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ros1/wp-content/uploads/sites/20/ahrometeorologhija-l2.pdf> (дата звернення травень 2025р).
7. Quality of Service in the Internet of Things (IoT) – A Survey URL: https://www.sjctni.edu/retell/content/2019_K.%20Subash_31-01-2020_5.pdf? (дата звернення травень 2025р)
8. M2M connections. URL: <https://www.open.edu/openlearn/mod/oucontent/view.php?id=48819§ion=4.1&> (дата звернення травень 2025р).
9. Cryptogenic stroke over 60 years of age: should patent foramen ovale be closed? URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7270899/>
10. Принципи застосування технології інтернет речей у сучасному світі техніки URL: https://www.tech.vernadskyjournals.in.ua/journals/2020/6_2020/part_1/26.pdf (дата звернення травень 2025р).
11. Коваль В.В., Замлинський В.А. Ринок послуг Інтернету речей (IoT): сучасний стан та обмеження розвитку. Трансформація економіки та права в умовах системних реформ України : зб. наук. пр. за матеріалами всеукр. наук.-

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

практ. конф. Одеса. торг.-екон. ін-т [та ін.]; редкол.: Квач Я.П. [та ін.]. Одеса, 2017. С. 35–37.

12. Рябошлик В. Огляд сучасних технологічних проривів і нових перспектив (від інтернету людей до інтернету речей). Економіст. 2017. № 6. С. 17–22.

13. Коцюбівська К., Прісич В., Яворський О. Впровадження технологій інтернету речей під час створення системи «Розумний дім». Цифрова платформа. Інформаційні технології в соціокультурній сфері. 2019. Т. 2.

14. Журавська І.М. IoT-мережа на базі Bluetooth-модулів для автоматизованого керування споживанням енергоресурсів. Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, вир-во. 2018. № 30/31. С. 37–44.

					БР.КІ - 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема дипломної роботи: **Цифрова система збору параметрів повітря за допомогою Raspberry Pi для опрацювання в Cloud-сервісі**

Обсяг пояснювальної записки 69 аркушів:

3 таблиць;

25 рисунків;

- додаток.

Дата завершення роботи: *12 червня 2025 р.*

Підпис студента- _____ *Звізда О. М.*