

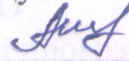
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра морського приладобудування

ДОПУЩЕНИЙ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри



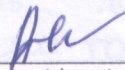
«17» 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

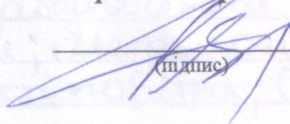
на тему Моніторинг якості повітря

Виконав: студент групи 4631


(підпис)

Ніконов О.Ю
(ПІБ)

Керівник роботи:


(підпис)

Тимченко В.А
(посада, ПІБ)

Миколаїв - 2026 року

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова

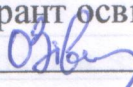
Інститут
Кафедра
Освітній ступінь
Спеціальність

ННІАЕ
морського приладобудування
бакалавр
152 Метрологія та інформаційно-
вимірвальна техніка
Вимірально-інформаційні системи

Освітня програма

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 Зівенко О.В.
« » 2026 рік

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Студенту Нікощаввий Олександр Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Моніторинг якості повітря

Сервісник роботи проф., д.т.н. Тищенко Віктор Леонідович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора № 286yz від "22" 04 20 26 року

Термін подання роботи 15.06.26

Вихідні дані до роботи Концентрація дрібнодисперсних частинок РМ_{2.5}: від 0 до 1000 мкг/м³; концентрація дрібнодисперсних частинок РМ₁₀: від 0 до 1000 мкг/м³; температура повітря: від -40 до +85°C; відносна вологість: від 0 до 100%; атмосферний тиск: від 950 до 1100 hPa; визначення рівня освітленості; визначення рівня шуму; похибка вимірювань: ±10%.

Перелік питань, що належать до розробки (найменування питань) Аналіз об'єкта дослідження та огляд системи моніторингу; Дослідження особливостей побудови комплексної інформаційної моніторингової системи контролю якості повітря; Проєктування апаратного забезпечення системи контролю якості атмосферного повітря; Метрологічні аспекти об'єкта моніторингу якості повітря; Охорона праці.

Перелік презентаційних матеріалів Актуальність та мета дослідження; Конструктивно-метрологічний апарат дослідження; Апаратне забезпечення; Порівняльний аналіз існуючих датчиків; Обґрунтування вибору Smart Citizen Kit; Структура дисципліни моніторингу; Практичне застосування датчику Smart Citizen Kit; Результати дослідження зміни кількості показників датчика Smart Citizen Kit; Результати проведеного дослідження; Метрологічні аспекти та вплив зовнішніх факторів; Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
06 ОП	Тубальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання 16.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Приміт
1	Аналіз об'єкта дослідження та очне дослідження системи моніторингу	16.02-26.02	виз.
2	Дослідження особливостей побудови комплексної інтегрованої моніторингової системи контролю якості повітря	26.02-14.03	виз.
3	Проектування апаратного забезпечення системи контролю якості атмосферного повітря	14.03-21.04	виз.
4	Метрологічні аспекти обраного датчика моніторингу якості повітря	21.04-04.05	виз.
5	Дослідження якості повітря	04.05-20.05	виз.
6	Охорона праці	20.05-01.06	виз.

Студент

(підпис)

Ніконов О.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Тягун В.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Темою дипломного проєкту є дослідження та проектування системи моніторингу якості атмосферного повітря на основі сучасних сенсорних технологій та мікроконтролерних засобів для ефективного контролю параметрів середовища.

У роботі проаналізовано існуючі системи та типи датчиків, розроблено апаратну частину пристрою, досліджено його метрологічні характеристики, а також практично застосовано сенсорний комплект Smart Citizen Kit.

Створення такої системи є головним завданням проєкту, актуальність якого зумовлена стрімким зростанням антропогенного впливу на довкілля та загрозою для здоров'я людини.

Ключові слова: моніторинг; повітря; системи моніторингу; забруднення повітря; навколишнє середовище; мікроконтролер; smart citizen kit; датчик; сенсор; мікроконтролер; метрологічні характеристики.

ANNOTATION

The theme of the diploma project is the study and design of an air quality monitoring system based on modern sensor technologies and microcontroller tools for effective control of environmental parameters.

The work analyzes existing systems and types of sensors, develops the hardware part of the device, investigates its metrological characteristics, and practically applies the Smart Citizen Kit sensor kit.

The creation of such a system is the main objective of the project, the relevance of which is due to the rapid growth of anthropogenic impact on the environment and the threat to human health.

Key words: monitoring; air; monitoring systems; air pollution; environment; microcontroller; smart citizen kit; sensor; microcontroller; metrological characteristics.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		4

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1: Аналіз об'єкта дослідження та огляд системи моніторингу	11
1.1 Загальні відомості.....	11
1.2 Актуальність впровадження системи моніторингу якості повітря.....	14
1.3 Розгляд сучасних систем моніторингу якості повітря	18
1.4 Галузі використання систем моніторингу якості атмосферного повітря.....	22
1.5 Аналіз недоліків існуючих систем моніторингу якості повітря	23
Розділ 2: Дослідження особливостей побудови комплексної інформаційної моніторингової системи контролю якості повітря	27
2.1 Порівняльний аналіз датчиків моніторингу якості повітря та вибір обраного датчика.....	27
2.2 Обґрунтування вибору датчика: переваги та доцільність застосування...	30
2.3 Структура та складові елементи обраного датчика моніторингу якості повітря.....	33
2.4 Практичне застосування обраного датчика	37
2.5 Основні технічні характеристики датчика моніторингу якості повітря ...	40
2.6 Функціональне призначення датчика моніторингу якості повітря	43

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Студент		Ніколаєва О.Ю.			ЗМІСТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Викладач		Тимченко В.Л.					5	
Консультант						НУК		
Н. Контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.								

Розділ 3: Проектування апаратного забезпечення системи контролю якості атмосферного повітря	47
3.1 Дослідження архітектури системи для контролю якості атмосферного повітря.....	47
3.2 Структурна схема блоку моніторингу якості повітря	51
3.3 Комплексний аналіз апаратної частини проєктованої системи моніторингу якості повітря	54
3.4 Розгляд складових компонентів: модулів, мікроконтролерів.....	56
3.5 Опис електричної схеми	59
Розділ 4: Метрологічні аспекти обраного датчику моніторингу якості повітря	64
4.1 Теоретичні засади метрологічного забезпечення датчиків	64
4.2 Основні метрологічні характеристики датчика	66
4.3 Калібрування і верифікація метрологічних параметрів датчика	71
4.4 Вплив зовнішніх факторів на метрологічні показники	73
Розділ 5: Дослідження якості повітря.....	78
5.1 Дослідження якості повітря за допомогою датчика в домашніх умовах	78
ОХОРОНА ПРАЦІ	84
ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	90

ВСТУП

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується значним зростанням техногенного навантаження на навколишнє середовище. Інтенсивний розвиток промисловості, транспорту, енергетики та урбанізація спричиняють постійне збільшення кількості шкідливих викидів в атмосферу. Повітря є одним з найважливіших компонентів природного середовища, від якого безпосередньо залежить життєдіяльність людини, функціонування екосистем та загальний екологічний стан територій. Тому, питання контролю та оцінювання якості атмосферного повітря набуває особливої важливості в умовах сучасного світу.

Забруднення повітря є складною екологічною проблемою, що має як локальний, так і глобальний характер. У великих містах та промислових регіонах концентрація шкідливих речовин в повітрі часто перевищує допустимі норми, що негативно впливає на здоров'я населення, спричиняє розвиток респіраторних, серцево-судинних та інших захворювань, а також погіршує стан навколишнього середовища. У зв'язку з цим виникає необхідність постійного спостереження за станом атмосферного повітря, оперативного виявлення змін його якості та своєчасного реагування на небезпечні ситуації.

Одним із ефективних шляхів вирішення цієї проблеми є створення та впровадження автоматизованих систем моніторингу якості повітря. Такі системи дозволяють здійснювати безперервний контроль концентрації шкідливих речовин, отримувати оперативні дані про стан повітряного середовища, аналізувати тенденції зміни екологічних показників та прогнозувати можливі ризики. Використання сучасних датчиків, мікроконтролерів, інформаційних технологій та засобів передачі даних дає змогу створювати компактні, доступні та ефективні системи екологічного моніторингу.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
						7
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю забезпечення ефективного контролю за станом атмосферного повітря в умовах постійного зростання антропогенного впливу на довкілля. Збільшення кількості транспортних засобів, викиди промислових підприємств, спалювання палива та інші фактори призводять до погіршення якості повітря у багатьох регіонах. Традиційні методи контролю часто потребують складного обладнання, значних фінансових витрат та не забезпечують достатньої оперативності отримання інформації. Тому, актуальним є розроблення сучасних систем моніторингу якості повітря, які базуються на використанні компактних сенсорних модулів, мікроконтролерних пристроїв та інформаційних технологій обробки даних. Такі системи дозволяють здійснювати безперервний контроль параметрів повітряного середовища, підвищувати точність вимірювань та забезпечувати оперативне інформування користувачів про стан атмосферного повітря.

Мета дослідження полягає в дослідженні принципів побудови та розробленні системи моніторингу якості атмосферного повітря на основі сучасних сенсорних технологій та мікроконтролерних засобів, а також у аналізі характеристик обраного датчика для забезпечення ефективного контролю параметрів повітряного середовища.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі **завдання**:

- проводиться аналіз сучасного стану проблеми моніторингу якості атмосферного повітря та огляд існуючих систем контролю;
- досліджуються типи датчиків, що використовуються для вимірювання параметрів повітряного середовища та здійснюється їх порівняльний аналіз;
- обґрунтовується вибір конкретного датчика для реалізації системи моніторингу;
- розглядаються конструктивні та функціональні особливості обраного датчика;

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
						8
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

- здійснюється проектування апаратної частини системи контролю якості повітря;
- аналізуються метрологічні характеристики датчика та досліджуються фактори, що впливають на точність вимірювань.

Об’єкт дослідження: процес моніторингу якості атмосферного повітря за допомогою автоматизованих вимірювальних систем.

Предмет дослідження: методи, засоби та технічні рішення, що використовуються для вимірювання, обробки та контролю параметрів якості атмосферного повітря, зокрема сенсорні технології та апаратні компоненти системи моніторингу.

Методи дослідження базуються на використанні загальнонаукових та спеціальних методів аналізу і синтезу технічних систем. В процесі виконання роботи застосовуються методи аналізу науково-технічної літератури та існуючих технічних рішень, методи порівняльного аналізу характеристик датчиків, методи системного підходу до проектування інформаційно-вимірювальних систем, а також методи технічного моделювання та аналізу метрологічних характеристик вимірювальних пристроїв.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в дослідженні особливостей використання сучасних сенсорних технологій для створення систем моніторингу якості атмосферного повітря, а також у вдосконаленні підходів до побудови апаратної частини системи контролю на основі обраного датчика. Проведений аналіз дозволяє визначити оптимальні технічні рішення для підвищення ефективності моніторингу та забезпечення достатньої точності вимірювань.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених підходів та технічних рішень для створення систем екологічного моніторингу, що можуть застосовуватися у міських умовах, на промислових об’єктах, у наукових дослідженнях та в освітніх проєктах.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
						9
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	1. Аналіз об'єкта дослідження та огляд системи моніторингу	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Ніколаєва О.Ю.					10	
Викладач		Тимченко В.Л.						
Консультант								
Н. Контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.						НУК		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОГЛЯД СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ

1.1 Загальні відомості

Атмосферне повітря є одним із найважливіших компонентів природного середовища, що забезпечує існування життя на Землі. Воно являє собою складну суміш газів, водяної пари, а також різноманітних аерозольних частинок, які знаходяться у постійному русі та взаємодії. Стан атмосферного повітря безпосередньо впливає на здоров'я людини, функціонування екосистем, кліматичні процеси та загальний екологічний баланс навколишнього середовища. Тому, питання контролю та оцінювання якості повітря є одним із ключових напрямів сучасних екологічних досліджень.

Якість атмосферного повітря визначається як сукупність показників, що характеризують його хімічний склад, фізичні властивості та рівень забруднення різноманітними речовинами. Під поняттям якості повітря зазвичай розуміють ступінь відповідності фактичного складу атмосферного повітря встановленим санітарно-гігієнічним, екологічним та нормативним вимогам [1]. Ці вимоги визначають допустимі концентрації різних речовин, перевищення яких може негативно впливати на здоров'я людини, рослинний та тваринний світ, а також на технічні об'єкти та будівлі.

Основу атмосферного повітря становлять гази природного походження. Основними компонентами повітря є азот, який становить приблизно 78 відсотків його об'єму, кисень, частка якого становить близько 21 відсотка, а також аргон, вуглекислий газ та інші інертні гази, які містяться у значно менших кількостях. В природних умовах цей склад залишається відносно стабільним, проте під впливом антропогенних факторів концентрація окремих речовин може суттєво змінюватися [2].

Оцінювання якості атмосферного повітря здійснюється на основі ряду основних показників, які характеризують рівень його забруднення. До таких показників належать концентрації газоподібних забруднювачів, зокрема оксидів азоту, оксиду вуглецю, діоксиду сірки, озону та інших речовин.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		11

Важливим показником є й наявність у повітрі дрібнодисперсних частинок, які можуть мати різне походження та розміри. Ці частинки можуть проникати у дихальні шляхи людини та викликати різноманітні захворювання.

Крім хімічного складу, на якість атмосферного повітря впливають і фізичні параметри, серед яких температура, вологість, атмосферний тиск, швидкість та напрямок вітру. Дані параметри визначають процеси розповсюдження та накопичення забруднювальних речовин у повітряному середовищі. Наприклад, у безвітряну погоду або за умов температурної інверсії забруднювальні речовини можуть накопичуватися у приземному шарі атмосфери, що призводить до значного погіршення якості повітря.

Для оцінювання стану атмосферного повітря використовуються спеціальні нормативні показники, які встановлюють гранично допустимі концентрації шкідливих речовин [3]. Такі нормативи визначають максимальний рівень концентрації певної речовини у повітрі, який не повинен викликати негативних наслідків для здоров'я людини при тривалому або короткочасному впливі. Порівняння фактичних показників із встановленими нормами дозволяє оцінити рівень забруднення повітря та визначити ступінь екологічної небезпеки.

Забруднення атмосферного повітря відбувається внаслідок надходження до нього різноманітних речовин природного або антропогенного походження, які змінюють його природний склад і можуть негативно впливати на живі організми та навколишнє середовище. Джерела забруднення атмосфери поділяються на природні та штучні, або антропогенні [4].

Природні джерела забруднення повітря існували задовго до появи людини і є складовою частиною природних процесів. До таких джерел належать вулканічні виверження, під час яких у атмосферу викидається значна кількість попелу, газів та дрібних частинок. Іншим природним джерелом є лісові пожежі, які супроводжуються виділенням великої кількості диму, оксидів вуглецю та інших продуктів горіння. Значний вплив на стан атмосферного повітря мають, також, пилові бурі, що виникають у посушливих

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		12

регіонах та спричиняють перенесення великої кількості мінерального пилу на значні відстані.

Окрім цього, до природних джерел забруднення належать біологічні процеси, пов'язані з діяльністю мікроорганізмів, рослин та тварин. В результаті таких процесів у повітря можуть потрапляти метан, аміак, сірководень та інші газоподібні речовини. Проте, незважаючи на наявність природних джерел, їхній вплив зазвичай має тимчасовий характер і не призводить до довготривалого погіршення якості повітря.

Найбільший вплив на стан атмосферного повітря у сучасних умовах мають антропогенні джерела забруднення, тобто ті, що пов'язані з діяльністю людини. До основних таких джерел належать промислові підприємства, енергетичні установки, транспортні засоби, будівельна діяльність та сільське господарство. Промисловість є одним із найбільших джерел викидів шкідливих речовин у атмосферу. В процесі виробництва металів, хімічної продукції, цементу та інших матеріалів у повітря потрапляють оксиди сірки, оксиди азоту, пил, важкі метали та інші забруднювачі.

Значний внесок у забруднення атмосферного повітря робить транспорт. Вихлопні гази автомобілів містять велику кількість шкідливих речовин, серед яких оксид вуглецю, оксиди азоту та дрібнодисперсні частинки. У великих містах транспортні викиди є одним із основних факторів погіршення якості повітря, особливо у районах з інтенсивним дорожнім рухом.

Ще одним важливим джерелом забруднення є енергетика, зокрема теплові електростанції, які працюють на викопному паливі. Під час спалювання вугілля, нафти чи природного газу утворюються різноманітні газоподібні та тверді забруднювачі, що потрапляють у атмосферу разом із димовими газами. Крім того, певний вплив на стан атмосферного повітря мають побутові джерела забруднення, пов'язані з використанням опалювальних систем, спалюванням сміття та використанням різних хімічних речовин у повсякденному житті.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		13

Загалом, джерела забруднення атмосферного повітря є різноманітними за своїм походженням та характером впливу. Сучасна екологічна ситуація значною мірою визначається саме антропогенними факторами, що обумовлює необхідність впровадження ефективних систем контролю та моніторингу стану повітряного середовища. Ці системи дозволяють своєчасно виявляти підвищені концентрації забруднювальних речовин, оцінювати рівень екологічної небезпеки та розробляти заходи щодо зменшення негативного впливу на довкілля.

1.2 Актуальність впровадження системи моніторингу якості повітря

В сучасних умовах розвитку суспільства питання контролю стану атмосферного повітря набуває особливої важливості. Інтенсивна індустріалізація, стрімке зростання кількості транспортних засобів, розширення промислового виробництва та урбанізація призводять до значного збільшення обсягів шкідливих викидів у атмосферу. В результаті цього відбувається поступове погіршення якості повітряного середовища, що негативно впливає як на здоров'я людини, так і на стан природних екосистем.

Атмосферне повітря є одним із основних факторів, що забезпечують життєдіяльність організмів. Людина щоденно споживає значні об'єми повітря, і навіть незначні зміни його складу можуть призводити до серйозних наслідків для здоров'я. Погіршення якості повітря часто відбувається поступово і не завжди є помітним для людини без використання спеціальних технічних засобів.

Сучасні системи моніторингу якості повітря дозволяють здійснювати постійне спостереження за концентрацією різних забруднювальних речовин у повітрі. Вони забезпечують збір, обробку та аналіз даних про стан атмосферного середовища, що дає можливість оперативно реагувати на небезпечні зміни екологічної ситуації [1]. Використання таких систем сприяє підвищенню рівня екологічної безпеки, забезпечує інформування населення

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		14

про стан повітря та створює основу для розроблення ефективних природоохоронних заходів.

Забруднення атмосферного повітря є однією з найбільш серйозних екологічних проблем сучасності. Потрапляння до атмосфери шкідливих речовин змінює її природний склад і створює небезпечні умови для існування живих організмів. Особливо чутливими до впливу забрудненого повітря є люди, рослини та тварини.

Для організму людини повітря є основним джерелом кисню, необхідного для нормального функціонування клітин та органів. Але, разом із киснем до організму можуть потрапляти різноманітні токсичні речовини, які містяться у забрудненому повітрі. Дрібнодисперсні частинки пилу, оксиди азоту, діоксид сірки, чадний газ та інші забруднювачі можуть проникати у дихальні шляхи та викликати різноманітні захворювання.

Тривалий вплив забрудненого повітря може призводити до розвитку хронічних захворювань дихальної системи, таких як бронхіт, астма та інші патології. Крім того, токсичні речовини, що потрапляють у кровоносну систему через легені, можуть впливати на роботу серцево-судинної системи, викликати порушення функцій нервової системи та знижувати імунітет організму. Особливо небезпечним є вплив забрудненого повітря на дітей, людей похилого віку та осіб із хронічними захворюваннями.

Негативний вплив забруднення атмосферного повітря проявляється і в зміні стану природних екосистем. Шкідливі речовини, що містяться в повітрі, можуть осідати на поверхні ґрунтів, водойм та рослинності, що призводить до порушення природних біологічних процесів [2]. Для прикладу, підвищена концентрація оксидів сірки та азоту може спричиняти утворення кислотних дощів, які негативно впливають на рослинний покрив, знижують родючість ґрунтів та погіршують стан водних ресурсів.

Крім того, забруднення повітря може впливати на кліматичні процеси та сприяти зміні клімату. Підвищення концентрації деяких газів у атмосфері

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		15

призводить до посилення парникового ефекту, що викликає глобальне потепління та інші кліматичні зміни.

Таблиця 1.1 – Основні забруднювачі атмосферного повітря та їх вплив на здоров'я людини і навколишнє середовище

Забруднювальна речовина	Основні джерела утворення	Вплив на здоров'я людини	Вплив на довкілля
Оксид вуглецю (CO)	Вихлопні гази транспорту, неповне згоряння палива	Порушує транспортування кисню кров'ю, викликає головний біль, запаморочення	Сприяє утворенню фотохімічного смогу
Діоксид сірки (SO ₂)	Спалювання вугілля, робота теплових електростанцій	Подразнює дихальні шляхи, може викликати бронхіт та астму	Спричиняє кислотні дощі, пошкоджує рослини
Оксиди азоту (NO _x)	Автомобільний транспорт, промислові підприємства	Викликають запалення дихальних шляхів, знижують функцію легень	Беруть участь в формуванні смогу та кислотних опадів
Дрібнодисперсний пил (PM _{2.5} , PM ₁₀)	Транспорт, будівництво, промисловість	Проникає у легені та кровоносну систему, викликає серцево-судинні захворювання	Осідає на рослинах і ґрунтах, погіршує екосистеми
Леткі органічні сполуки	Хімічна промисловість, випаровування палива	Можуть викликати інтоксикацію та алергічні реакції	Беруть участь в формуванні фотохімічного смогу

Отже, вплив забруднення атмосферного повітря має багатогранний характер і проявляється як в погіршенні стану здоров'я людини, так і в негативних змінах природного середовища.

З огляду на значний вплив забруднення повітря на здоров'я населення та стан навколишнього середовища виникає потреба у постійному контролі параметрів атмосферного повітря. Традиційні методи екологічного контролю, які базуються на періодичному відборі проб повітря та лабораторному аналізі, мають низку обмежень [3]. Такі методи потребують значних часових витрат, спеціального обладнання та участі кваліфікованого персоналу, а також не забезпечують можливості оперативного отримання інформації про зміну стану повітря.

В сучасних умовах ефективним рішенням цієї проблеми є використання автоматизованих систем моніторингу якості повітря. Такі системи складаються з комплексу датчиків, вимірювальних модулів, мікроконтролерів, засобів передачі даних та програмного забезпечення для обробки та аналізу отриманої інформації. Вони дозволяють здійснювати безперервний контроль концентрації різних забруднювальних речовин у повітрі та забезпечують високу оперативність отримання результатів.

Автоматизовані системи моніторингу мають ряд важливих переваг. Однією з основних переваг є можливість проведення безперервних вимірювань у режимі реального часу. Це дозволяє оперативно виявляти підвищення концентрації шкідливих речовин та своєчасно реагувати на небезпечні ситуації. Крім того, використання сучасних сенсорних технологій дає змогу створювати компактні та відносно недорогі пристрої, які можуть застосовуватися у різних умовах.

Ще однією важливою особливістю автоматизованих систем є можливість інтеграції з інформаційними мережами та хмарними сервісами. Завдяки цьому дані про стан атмосферного повітря можуть передаватися на віддалені сервери, де вони зберігаються, аналізуються та використовуються для створення прогнозів і статистичних звітів. Такий спосіб дозволяє формувати комплексні системи екологічного моніторингу, які охоплюють великі території та забезпечують високий рівень інформаційної підтримки.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		17

Використання автоматизованих систем контролю якості повітря має важливе значення для органів державного управління, екологічних служб, наукових установ та населення. Отримана інформація може використовуватися для оцінювання екологічної ситуації, планування заходів щодо зменшення рівня забруднення, а також для інформування громадськості про стан атмосферного повітря.

Отже, впровадження автоматизованих систем моніторингу якості повітря є необхідним кроком для забезпечення ефективного екологічного контролю, підвищення рівня екологічної безпеки та створення умов для сталого розвитку суспільства. Сучасні технології дозволяють створювати ефективні та доступні системи контролю, які можуть застосовуватися як в масштабах великих міст, так і на локальних об'єктах, забезпечуючи своєчасне отримання достовірної інформації про стан атмосферного середовища.

1.3 Розгляд сучасних систем моніторингу якості повітря

В сьогоденнішніх умовах забезпечення екологічної безпеки значну роль відіграють системи моніторингу якості атмосферного повітря. Ці системи являють собою комплекс технічних, інформаційних та програмних засобів, призначених для вимірювання, обробки, зберігання та аналізу даних про концентрацію різних забруднювальних речовин у повітрі. Основною метою використання систем моніторингу є отримання достовірної інформації про стан атмосферного середовища, виявлення джерел забруднення та своєчасне реагування на небезпечні екологічні ситуації.

Сучасні системи контролю якості повітря можуть значно відрізнятися за своєю структурою, принципами роботи, функціональними можливостями та сферою застосування. Залежно від умов використання та способу розміщення вимірювального обладнання такі системи умовно поділяють на стаціонарні, мобільні та портативні. Кожен із цих типів має свої особливості, переваги та обмеження, що визначають їх ефективність у різних умовах експлуатації.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		18

Стационарні системи моніторингу атмосферного повітря є одним із найбільш поширених та точних інструментів екологічного контролю. Вони встановлюються у визначених точках спостереження та забезпечують постійне вимірювання концентрації різних забруднювальних речовин у повітрі. Такі системи зазвичай складаються з комплексу високоточних газоаналізаторів, метеорологічних датчиків, систем відбору проб повітря, блоків обробки даних та засобів передачі інформації. Дані, отримані від вимірювальних приладів, передаються до центральних серверів або диспетчерських центрів, де здійснюється їх подальший аналіз та зберігання.

Одним із прикладів сучасної стаціонарної системи моніторингу є мережа **Air Quality Monitoring Stations**, яка використовується у багатьох країнах світу для контролю якості атмосферного повітря. Такі станції обладнані високоточними газоаналізаторами, що дозволяють визначати концентрації оксиду вуглецю, діоксиду сірки, оксидів азоту, озону, а також дрібнодисперсних частинок. Вони працюють у безперервному режимі та передають результати вимірювань до централізованих систем екологічного моніторингу.

Ще одним прикладом сучасної стаціонарної системи є міжнародна система моніторингу **AirNow**, яка функціонує в Сполучених Штатах Америки. Ця система об'єднує мережу автоматизованих станцій спостереження, розташованих у різних регіонах країни. Отримані дані використовуються для визначення індексу якості повітря та інформування населення про поточний стан атмосферного середовища. Інформація з таких станцій регулярно оновлюється та публікується у відкритому доступі.

У країнах Європейського Союзу широко застосовується система моніторингу **European Air Quality e-Reporting**, яка забезпечує збір даних про якість повітря з національних мереж спостереження. Ця система дозволяє отримувати узагальнену інформацію про стан атмосферного повітря у різних регіонах Європи та використовувати її для аналізу екологічної ситуації на міжнародному рівні.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		19

Стационарні системи моніторингу мають високу точність вимірювань та забезпечують надійний контроль за станом атмосферного повітря. Проте їх використання пов'язане з певними обмеженнями, зокрема високою вартістю обладнання, складністю монтажу та обслуговування, а також обмеженою кількістю пунктів спостереження. Якраз тому, для доповнення стаціонарних систем в сучасних умовах активно використовуються мобільні та портативні системи моніторингу.

Мобільні системи моніторингу якості повітря встановлюються на транспортних засобах або спеціальних платформах і призначені для проведення вимірювань у різних точках місцевості. Вони дозволяють отримувати детальну інформацію про розподіл забруднювальних речовин у межах певної території та оперативно виявляти джерела забруднення. Мобільні лабораторії часто використовуються екологічними службами та науковими установами для проведення досліджень та оцінювання екологічного стану територій.

Одним із прикладів мобільної системи є лабораторії **Airpointer Mobile Monitoring System**, які використовуються для контролю якості повітря у різних містах. Такі системи можуть бути встановлені на автомобілях і оснащені газоаналізаторами, датчиками твердих частинок та метеорологічними приладами. Завдяки мобільності вони дозволяють проводити вимірювання у різних районах міста та визначати локальні джерела забруднення.

Зараз значного поширення набули і компактні портативні системи моніторингу якості повітря. Вони відрізняються невеликими розмірами, простотою використання та відносно низькою вартістю. Такі пристрої можуть застосовуватися як у професійних екологічних дослідженнях, так і в побутових умовах для індивідуального контролю стану повітря.

Одним із прикладів портативних систем є пристрій **AirVisual Pro (рис. 1.1)**, який призначений для вимірювання концентрації дрібнодисперсних

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		20

частинок в повітрі. Цей прилад обладнаний лазерним датчиком частинок, датчиками температури та вологості, а також дисплеєм для відображення інформації про стан повітря. Пристрій може підключатися до мережі Інтернет та передавати дані до глобальної мережі моніторингу.



Рисунок 1.1 – Пристрій AirVisual Pro

Ще одним популярним прикладом є портативний аналізатор якості повітря **Atmotube Pro** (рис. 1.2). Цей компактний пристрій дозволяє вимірювати концентрацію летких органічних сполук, а також визначати рівень забруднення повітря дрібними частинками. Прилад синхронізується зі смартфоном через бездротовий зв'язок та передає дані до спеціального мобільного застосунку.



Рисунок 1.2 – Портативний аналізатор якості повітря Atmotube Pro

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		21

Також, широкого поширення набули системи громадського екологічного моніторингу, які базуються на використанні мережі компактних сенсорних пристроїв. Прикладом такої системи є мережа **Luftdaten**, яка об'єднує тисячі недорогих датчиків якості повітря, встановлених користувачами у різних країнах світу. Дані з цих датчиків передаються на відкриту платформу та використовуються для створення інтерактивних карт забруднення повітря.

В цілому, сучасні системи моніторингу якості атмосферного повітря представлені широким спектром технічних рішень, що відрізняються за рівнем складності, точністю вимірювань та сферою застосування. Стаціонарні системи забезпечують високоточний довготривалий контроль стану повітря у визначених точках спостереження, тоді як мобільні та портативні системи дозволяють проводити вимірювання в різних місцях та отримувати більш детальну інформацію про розподіл забруднювальних речовин.

1.4 Галузі використання систем моніторингу якості атмосферного повітря

Системи моніторингу якості атмосферного повітря сьогодні застосовуються багатьох сферах, де контроль стану повітря є критично важливим для здоров'я населення, безпеки промислових процесів та забезпечення екологічної стабільності. Однією з основних сфер використання є промисловість, де автоматизовані системи дозволяють відслідковувати викиди забруднювальних речовин, контроль за дотриманням екологічних норм та планувати заходи щодо зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Для прикладу, на металургійних та хімічних підприємствах використовуються стаціонарні станції моніторингу, здатні вимірювати концентрації оксидів сірки, азоту та дрібнодисперсного пилу в реальному часі, що дозволяє уникати перевищення гранично допустимих концентрацій та забезпечувати безпечну роботу підприємства. В міських умовах системи моніторингу активно застосовуються для контролю якості повітря у районах з високою інтенсивністю дорожнього руху, поблизу

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		22

житлових кварталів та промислових зон. Мережі стаціонарних датчиків, такі як **Air Quality Monitoring Stations** чи **AirNow**, дозволяють органам місцевого самоврядування отримувати оперативну інформацію про стан повітря та приймати управлінські рішення щодо обмеження шкідливих викидів чи регулювання транспортного потоку.

Другим напрямом використання систем моніторингу є наукові дослідження та екологічний контроль. Тут застосовуються як стаціонарні, так і мобільні та портативні прилади для оцінювання екологічної ситуації, дослідження впливу різних факторів на стан повітря та прогнозування його зміни. Для прикладу, мобільні лабораторії **Airpointer Mobile Monitoring System** дозволяють проводити деталізовані вимірювання забруднення повітря у різних районах міста та околицях промислових об'єктів, а портативні пристрої **AirVisual Pro** та **Atmotube Pro** дають можливість швидко оцінювати стан повітря для наукових експериментів, або громадських ініціатив. Такі системи використовуються в рамках великих екологічних проєктів для створення інтерактивних карт забруднення, аналізу впливу промислових та транспортних викидів на навколишнє середовище, а також для оцінки ефективності природоохоронних заходів. Крім того, дані, отримані від розподілених сенсорних мереж, таких як **Luftdaten**, дозволяють дослідникам вивчати глобальні тенденції забруднення повітря та проводити порівняльний аналіз стану атмосферного середовища у різних країнах і регіонах.

1.5 Аналіз недоліків існуючих систем моніторингу якості повітря

Хоча сучасні системи моніторингу якості повітря забезпечують широкий спектр можливостей для оцінки стану атмосферного середовища, вони не позбавлені певних обмежень та проблем, що знижують їх ефективність у практичному використанні. Аналіз існуючих систем дозволяє виділити низку технічних та організаційних аспектів, які потребують удосконалення для підвищення точності, надійності та доступності контролю за якістю повітря.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		23

Однією з основних проблем є технічні обмеження сучасних систем моніторингу. Стаціонарні високоточні станції часто мають значні габарити та потребують складного монтажу, спеціалізованого обслуговування і регулярної калібрування, що обмежує їх мобільність та можливість розгортання у великій кількості точок спостереження. Мобільні та портативні системи, навпаки, відрізняються компактністю, проте їх точність вимірювань зазвичай нижча, ніж в стаціонарних лабораторних станцій. Крім того, сенсорні модулі можуть демонструвати нестабільну роботу під впливом зовнішніх факторів, таких як температура, вологість, запиленість чи присутність інших газів, що створює додаткові труднощі для отримання достовірних даних в різних умовах експлуатації.

Другим важливим аспектом є проблема точності, вартості та доступності систем моніторингу. Високоточне обладнання, яке використовується на стаціонарних станціях, є дорогим у придбанні та обслуговуванні, що обмежує можливості його широкого впровадження у малих та середніх містах. Бюджетні портативні сенсори, хоча й забезпечують зручність та мобільність, часто мають похибки у вимірюваннях, що потребує додаткової обробки даних та регулярного калібрування для забезпечення надійності інформації. В багатьох регіонах світу через високу вартість технічних рішень та недостатнє фінансування відсутня можливість створити масштабну мережу спостереження, що призводить до недостатньої покритості територій і обмеженості інформації для прийняття управлінських рішень.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		24

Таблиця 1.2 – Основні недоліки сучасних систем моніторингу якості повітря

Недолік	Опис проблеми	Вплив на ефективність моніторингу
Технічна складність стаціонарних станцій	Великі габарити, складний монтаж та обслуговування	Обмежує можливість масштабного розгортання та оперативного реагування
Нестабільність портативних датчиків	Вплив температури, вологості, запиленості на точність	Знижує достовірність даних та потребує частого калібрування
Висока вартість обладнання	Високоточні газоаналізатори та сенсорні модулі дорогі	Ускладнює широке впровадження у малих містах та приватному секторі
Обмежена покритість територій	Недостатня кількість станцій у різних районах	Створює прогалини у даних та обмежує аналіз екологічної ситуації
Затримка у передачі та обробці даних	Часто потрібна ручна обробка або централізоване збирання інформації	Ускладнює оперативне реагування на небезпечні концентрації забруднювачів
Потреба у регулярній калібруванні	Вимірювальні прилади потребують частого налаштування	Збільшує витрати на обслуговування та може впливати на точність даних

Загалом, хоча сучасні системи моніторингу забезпечують широкі можливості для контролю якості атмосферного повітря, їх ефективність значною мірою обмежена технічними, фінансовими та організаційними аспектами. Врахування цих недоліків є критично важливим при розробленні нових систем моніторингу, бо дозволяє підвищити точність вимірювань, розширити територіальне покриття та забезпечити доступність екологічної інформації для різних користувачів.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	2. Дослідження особливостей побудови комплексної інформаційної моніторингової системи контролю якості повітря	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Ніколаєва О.Ю.					26	
Викладач		Тимченко В.Л.						
Консультант								
Н. Контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.						НУК		

РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПОБУДОВИ КОМПЛЕКСНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОНІТОРИНГОВОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

2.1 Порівняльний аналіз датчиків моніторингу якості повітря та вибір обраного датчика

В процесі розроблення системи моніторингу якості атмосферного повітря одним із найважливіших етапів є вибір відповідного вимірювального датчика. Від характеристик сенсорного елемента значною мірою залежить точність отриманих даних, стабільність роботи системи, швидкість реагування на зміни концентрації забруднювальних речовин та загальна ефективність функціонування системи моніторингу. У сучасних умовах на ринку представлена значна кількість різних типів датчиків, які відрізняються принципом роботи, функціональними можливостями, вартістю та сферою застосування.

Датчики контролю якості повітря застосовуються для визначення концентрації різних газів, летких органічних сполук, дрібнодисперсних частинок, а також для вимірювання допоміжних параметрів середовища, таких як температура та відносна вологість. Вибір конкретного типу датчика залежить від того, які саме параметри необхідно контролювати, а також від умов експлуатації системи.

В сучасних системах екологічного моніторингу найбільш поширеними є напівпровідникові газові сенсори, електрохімічні датчики, інфрачервоні сенсори та оптичні лазерні датчики твердих частинок [5]. Напівпровідникові датчики є одними з найпоширеніших через їх відносно низьку вартість та простоту інтеграції у електронні системи. Принцип їх роботи базується на зміні електричного опору чутливого матеріалу при взаємодії з певними газами. Такі сенсори широко застосовуються у побутових та навчальних системах моніторингу повітря. До цієї категорії належать, зокрема, популярні датчики серії MQ.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		27

Електрохімічні датчики відрізняються вищою точністю вимірювання концентрації окремих газів. Їх робота базується на електрохімічній реакції між газом та електролітом, що призводить до утворення електричного сигналу, пропорційного концентрації речовини [10]. Такі сенсори використовуються у професійних системах екологічного контролю та на промислових підприємствах.

Ще одним типом сенсорів є інфрачервоні датчики, які застосовуються для вимірювання концентрації газів за рахунок поглинання інфрачервоного випромінювання молекулами певних речовин. Вони відзначаються високою точністю та стабільністю роботи, проте їх вартість значно перевищує вартість більшості інших типів сенсорів, що обмежує їх застосування у бюджетних системах моніторингу.

Для визначення концентрації дрібнодисперсних частинок у повітрі широко використовуються лазерні оптичні датчики. Принцип їх роботи полягає у вимірюванні інтенсивності розсіювання лазерного променя частинками пилу, що дозволяє визначати їх концентрацію та розмір. Такі сенсори активно використовуються у сучасних системах моніторингу якості повітря, бо дозволяють отримувати достатньо точні дані при відносно невисокій вартості.

Порівняння різних типів датчиків показує, що кожен з них має свої переваги та обмеження. Напівпровідникові сенсори відзначаються доступною ціною та простотою використання, але можуть мати певну похибку вимірювань і потребують часу для стабілізації показників. Електрохімічні датчики забезпечують високу точність, проте мають обмежений термін служби та потребують регулярного калібрування. Інфрачервоні сенсори характеризуються стабільністю та надійністю, але їх використання часто обмежується високою вартістю обладнання. Лазерні датчики частинок забезпечують ефективний контроль запиленості повітря і широко застосовуються у портативних системах моніторингу.

Для практичного порівняння датчиків, які найчастіше використовуються у сучасних системах моніторингу якості повітря, доцільно розглянути декілька популярних моделей сенсорів, що відрізняються функціональними можливостями та технічними характеристиками (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика популярних датчиків моніторингу якості повітря

Назва датчика	Тип датчика	Вимірювані параметри	Основні переваги	Основні недоліки
MQ-135	Напівпровідниковий газовий сенсор	CO ₂ , NH ₃ , бензол, дим	Низька вартість, проста інтеграція з мікроконтролерами	Порівняно висока похибка, потребує калібрування
SDS011	Лазерний оптичний датчик	Частинки PM2.5 та PM10	Висока точність вимірювання пилу, стабільна робота	Чутливість до вологості та забруднення
PMS5003	Лазерний оптичний сенсор	PM1.0, PM2.5, PM10	Компактність, швидке реагування, хороша точність	Вища вартість порівняно з MQ-серією
BME680	Цифровий мультисенсор	Температура, вологість, тиск, гази	Комплексне вимірювання параметрів середовища	Не визначає конкретні гази
MH-Z19B	Інфрачервоний датчик CO ₂	Концентрація CO ₂	Висока точність вимірювання вуглекислого газу	Відносно висока вартість

Проведений аналіз показує, що для створення компактної системи моніторингу атмосферного повітря важливо враховувати баланс між точністю вимірювання, вартістю обладнання та простотою інтеграції датчика у систему. Для прикладу, лазерні сенсори типу SDS011 чи PMS5003 дозволяють ефективно визначати концентрацію дрібнодисперсних частинок, які є одним із основних показників забруднення міського повітря.

В той же час напівпровідникові датчики серії MQ забезпечують можливість визначення наявності різних газоподібних забруднювачів при значно нижчій вартості.

З огляду на наведене порівняння для реалізації системи моніторингу якості повітря доцільно обирати датчик, який поєднує достатню точність вимірювань, доступну вартість та простоту інтеграції з мікроконтролерними платформами.

2.2 Обґрунтування вибору датчика: переваги та доцільність застосування

Під час розроблення системи моніторингу якості атмосферного повітря одним із ключових етапів є обґрунтований вибір сенсорного обладнання, яке буде використовуватися для вимірювання параметрів навколишнього середовища. Правильно підібраний датчик, або сенсорний модуль дозволяє забезпечити необхідну точність вимірювань, стабільність роботи системи та надійність отриманих результатів. В сучасних умовах існує велика кількість різноманітних сенсорів, призначених для контролю якості повітря, але їх характеристики можуть суттєво відрізнятися за принципом роботи, функціональними можливостями, точністю вимірювання, енергоспоживанням та вартістю.

У межах цієї роботи для побудови системи моніторингу атмосферного повітря було обрано сенсорний комплект Smart Citizen Kit, який є сучасною платформою для екологічного моніторингу та збору даних про параметри навколишнього середовища. Даний комплект поєднує в собі набір датчиків для вимірювання основних параметрів повітря, мікроконтролерний модуль для обробки інформації та можливості передачі даних до інформаційних систем. Завдяки модульній архітектурі та широкому функціоналу він може використовуватися як в наукових дослідженнях, так і в навчальних чи міських екологічних проєктах.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		30

Вибір саме цього сенсорного комплексу обумовлений тим, що він дозволяє реалізувати комплексний підхід до моніторингу якості атмосферного повітря, забезпечуючи одночасне вимірювання кількох важливих параметрів середовища. Це є особливо важливим для отримання повної картини стану повітря, так як на поширення забруднювальних речовин впливають не лише їх концентрації, але й метеорологічні фактори, такі як температура, вологість та атмосферний тиск.

Першим етапом обґрунтування вибору сенсорного обладнання є визначення основних критеріїв, за якими здійснюється оцінка та порівняння різних типів датчиків. У процесі розроблення системи моніторингу було враховано ряд технічних, експлуатаційних та економічних параметрів, що дозволяють оцінити доцільність використання певного сенсорного рішення.

Одним із найважливіших критеріїв є точність вимірювання параметрів повітря. Для систем моніторингу важливо, щоб датчики забезпечували достатню точність та стабільність показників протягом тривалого часу експлуатації [6]. Надійність отриманих даних має особливе значення для екологічних досліджень, оскільки навіть незначні похибки можуть впливати на результати аналізу стану атмосферного середовища.

Не менш важливим критерієм є можливість вимірювання кількох параметрів одночасно. Сучасні системи моніторингу повинні забезпечувати комплексний контроль стану повітря, включаючи визначення концентрації забруднювальних газів, дрібнодисперсних частинок, температури, вологості та інших параметрів. Використання мультисенсорних платформ дозволяє значно спростити структуру системи та підвищити її функціональність.

Наступним важливим фактором є сумісність датчика з мікроконтролерними платформами та можливість інтеграції у інформаційні системи [7]. Для сучасних систем моніторингу важливо забезпечити можливість автоматичної передачі даних до віддалених серверів або хмарних платформ для подальшого аналізу та зберігання інформації.

Тому, перевага надається сенсорним модулям, які підтримують стандартні інтерфейси підключення та мають готові програмні бібліотеки для інтеграції.

Окрему увагу під час вибору датчика приділяють енергоспоживанню пристрою. Це особливо важливо для автономних систем моніторингу, які можуть працювати від акумуляторів або альтернативних джерел енергії. Низьке енергоспоживання дозволяє збільшити тривалість роботи системи без необхідності частого обслуговування, або заміни джерел живлення.

Крім технічних характеристик, важливим критерієм є й вартість обладнання та доступність компонентів. Для реалізації практичних систем моніторингу необхідно враховувати економічну доцільність використання сенсорного обладнання, особливо у випадках, коли планується розгортання великої кількості вимірювальних вузлів на певній території.

З урахуванням зазначених критеріїв було проведено аналіз різних типів сенсорних рішень, після чого було прийнято рішення про використання комплекту Smart Citizen Kit. Ця платформа має ряд переваг, які роблять її ефективним інструментом для побудови системи моніторингу якості атмосферного повітря.

Однією з основних переваг даного комплекту є його модульна архітектура. Конструкція пристрою дозволяє використовувати різні типи сенсорів, що забезпечує можливість адаптації системи під конкретні умови експлуатації та завдання дослідження. Це дозволяє створювати як прості локальні системи контролю повітря, так і розширені мережі моніторингу.

Ще однією важливою перевагою є можливість одночасного вимірювання кількох параметрів навколишнього середовища. Сенсорний комплект забезпечує контроль температури, відносної вологості, атмосферного тиску, концентрації газів та інших екологічних показників. Такий комплексний підхід дозволяє отримувати більш точну інформацію про стан повітряного середовища та враховувати вплив метеорологічних факторів на результати вимірювань.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		32

Суттєвою перевагою є й можливість підключення пристрою до мережі Інтернет та передавання даних до спеціалізованих платформ для зберігання та аналізу інформації. Це дозволяє створювати розподілені системи моніторингу, в яких дані з різних точок вимірювання об'єднуються в єдину інформаційну систему. В результаті формується база даних, яка може використовуватися для проведення екологічних досліджень та аналізу тенденцій зміни якості атмосферного повітря.

Крім того, комплект Smart Citizen Kit відзначається відносно невеликими габаритами та простотою встановлення. Завдяки компактній конструкції його можна легко інтегрувати у різні системи моніторингу, або використовувати як автономний пристрій для збору екологічних даних.

Порівняно з багатьма іншими сенсорними рішеннями, даний комплект має також перевагу у вигляді відкритої архітектури та широкої підтримки з боку спільноти розробників. Це значно спрощує процес розроблення програмного забезпечення, інтеграції нових сенсорів та модернізації системи в майбутньому.

2.3 Структура та складові елементи обраного датчика моніторингу якості повітря

Як вже було сказано, для реалізації системи моніторингу якості атмосферного повітря використовується сенсорний комплект Smart Citizen Kit, який являє собою багатофункціональну апаратну платформу для збору екологічних даних. Цей пристрій розроблений як модульна система моніторингу, що поєднує в собі набір сенсорів, електронні модулі обробки інформації, систему живлення та засоби передачі даних. Конструкція комплекту передбачає можливість використання як у приміщеннях, так і на відкритому повітрі, що дозволяє застосовувати його для дослідження екологічної ситуації в різних умовах.

Пристрій має компактну конструкцію та складається з кількох основних апаратних елементів, які розміщуються у спеціальному корпусі.

Для захисту сенсорів та електроніки використовується корпус із базовою платформою та верхньою кришкою, які можуть бути виготовлені за допомогою 3D-друку. В конструкції корпусу передбачені спеціальні отвори для циркуляції повітря, що дозволяє сенсорам безпосередньо контактувати з навколишнім середовищем і забезпечувати точність вимірювань.

Всередині корпусу розташована електронна плата пристрою, на якій встановлені сенсорні модулі, інтерфейси підключення та елементи керування. Окрім цього, система включає модуль живлення з акумуляторною батареєю, карту пам'яті для локального збереження даних, а також інтерфейси зв'язку для передачі інформації до мережевих платформ. Таке поєднання компонентів дозволяє пристрою працювати як автономний вимірювальний вузол у розподілених мережах екологічного моніторингу.

Комплект містить набір сенсорів, які вимірюють різні параметри навколишнього середовища. Зокрема, пристрій може визначати температуру повітря, відносну вологість, атмосферний тиск, рівень освітленості, рівень шуму та концентрацію дрібнодисперсних частинок пилу. Для вимірювання цих параметрів використовуються сучасні цифрові сенсори, серед яких датчики температури та вологості Sensirion SHT31, барометричний сенсор NXP MPL3115A2, датчик освітленості Rohm BH1721FVC та мікрофонний сенсор для визначення рівня шуму. Для вимірювання концентрації твердих частинок у повітрі застосовується лазерний сенсор серії Sensirion SEN5X, що дозволяє визначати концентрації частинок PM1, PM2.5, PM4 та PM10.

Структурно система складається з кількох взаємопов'язаних функціональних блоків, кожен з яких виконує окрему роль в процесі збору та обробки екологічної інформації. Основним елементом є сенсорний блок, який містить набір датчиків для вимірювання параметрів навколишнього середовища. Цей блок безпосередньо контактує з повітрям та фіксує фізичні та хімічні характеристики атмосферного середовища.

Другим важливим елементом є обчислювальний блок, який складається з мікроконтролерної плати. Цей модуль виконує функції обробки сигналів

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
						34
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

від сенсорів, перетворює їх у цифрові дані та формує інформаційні пакети для подальшого зберігання або передачі. Мікроконтролер також здійснює керування роботою сенсорів, контролює періодичність вимірювань та забезпечує стабільність функціонування всієї системи.

Наступним важливим елементом є блок зберігання даних, який реалізований за допомогою карти пам'яті microSD. Цей компонент дозволяє записувати отримані дані у локальну пам'ять пристрою. Наявність такого модуля забезпечує можливість роботи системи навіть у випадках, коли відсутнє підключення до мережі Інтернет. Після відновлення з'єднання зібрана інформація може бути передана до інформаційної платформи для подальшого аналізу.

Система також містить комунікаційний блок, який забезпечує передачу вимірюваних даних до зовнішніх інформаційних систем. У стандартному режимі роботи пристрій підключається до бездротової мережі Wi-Fi та регулярно передає інформацію до онлайн-платформи моніторингу. Передача даних може здійснюватися з певною періодичністю, наприклад кожну хвилину, що дозволяє отримувати оперативну інформацію про стан атмосферного повітря.

Останнім важливим елементом системи є блок живлення, який забезпечує енергопостачання всіх електронних компонентів пристрою. Живлення може здійснюватися як через USB-інтерфейс, так і за допомогою акумуляторної батареї ємністю приблизно 2000 мА·год. Це дозволяє використовувати систему як в стаціонарних умовах, так і в мобільних, або автономних проєктах моніторингу.

Принцип роботи сенсорного комплекту Smart Citizen Kit базується на послідовній взаємодії сенсорних модулів, мікроконтролера та комунікаційних інтерфейсів. В процесі роботи датчики постійно здійснюють вимірювання параметрів навколишнього середовища. Кожен сенсор генерує електричний сигнал, який відповідає певному фізичному параметру, наприклад температурі повітря, рівню освітленості або концентрації пилу [8].

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		35

Отримані сигнали надходять до центрального мікроконтролера, де здійснюється їх обробка. На цьому етапі відбувається перетворення аналогових або цифрових сигналів сенсорів у стандартизований формат даних [9]. Після цього дані проходять етап попередньої обробки, що може включати усереднення значень, фільтрацію шумів та формування структурованих пакетів інформації.

Після обробки отримані дані можуть зберігатися у внутрішній пам'яті або передаватися до зовнішньої інформаційної системи. У стандартному режимі роботи пристрій використовує бездротове з'єднання Wi-Fi для передачі результатів вимірювань до спеціалізованої платформи екологічного моніторингу. На цій платформі інформація зберігається у базі даних та відображається у вигляді графіків або таблиць, що дозволяє користувачам аналізувати зміну параметрів повітря у реальному часі.

У випадках, коли підключення до мережі Інтернет відсутнє, система переходить в автономний режим роботи. В такому режимі всі результати вимірювань записуються на карту пам'яті microSD, що дозволяє зберігати великі обсяги інформації протягом тривалого часу. Після відновлення доступу до мережі зібрані дані можуть бути передані до платформи моніторингу та використані для подальшого аналізу.

Взаємодія між усіма елементами системи організована таким чином, щоб забезпечити безперервний цикл збору, обробки та передачі даних. Сенсори здійснюють вимірювання параметрів середовища, мікроконтролер виконує їх обробку, модуль пам'яті забезпечує збереження інформації, а комунікаційний інтерфейс передає результати до інформаційної системи. Завдяки такій структурі пристрій здатний працювати у режимі постійного моніторингу та забезпечувати отримання актуальної інформації про стан атмосферного повітря.

Отже, структура сенсорного комплекту Smart Citizen Kit дозволяє створити ефективну систему збору екологічних даних, яка поєднує у собі сучасні сенсорні технології, мікроконтролерну обробку інформації та

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		36

можливості мережевої передачі даних. Це забезпечує високу функціональність пристрою та робить його придатним для використання в системах моніторингу якості атмосферного повітря.

2.4 Практичне застосування обраного датчика

Практичне використання сенсорного комплекту Smart Citizen Kit передбачає розгортання вимірювального пристрою у конкретному місці для збору екологічних даних та подальшої передачі цих даних до інформаційних платформ моніторингу. Після складання пристрою він проходить процедуру реєстрації у спеціалізованій онлайн-платформі, де кожен комплект прив'язується до облікового запису користувача. Така реєстрація дозволяє ідентифікувати пристрій у системі та забезпечити централізований доступ до отриманих вимірювань. Після реєстрації пристрій може передавати інформацію про стан навколишнього середовища у режимі реального часу, або зберігати її локально для подальшого аналізу.

Практичне застосування комплекту передбачає декілька етапів розгортання системи моніторингу. Спочатку здійснюється фізичне складання пристрою. До комплекту входять електронна плата датчика, сенсор дрібнодисперсних частинок, акумуляторна батарея, карта пам'яті microSD, корпус із 3D-друкованими елементами, а також необхідні кріплення і кабелі. Після складання всі електронні модулі розміщуються у корпусі таким чином, щоб сенсори мали доступ до повітряного потоку через спеціальні отвори у конструкції корпусу. Така конструкція дозволяє проводити вимірювання параметрів навколишнього середовища без значного впливу зовнішніх механічних факторів.

Після складання система підключається до джерела живлення та проходить процедуру початкового налаштування через спеціальний веб-інтерфейс. Для цього використовується комп'ютер або мобільний пристрій, за допомогою якого користувач підключається до системи та виконує конфігурацію параметрів мережі. В процесі налаштування пристрій

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		37

підключається до бездротової мережі Wi-Fi та отримує можливість передавати дані до онлайн-платформи. Після завершення налаштування датчик починає регулярно передавати результати вимірювань до інформаційної системи. В стандартному режимі роботи передача даних може здійснюватися приблизно раз на хвилину, що дозволяє отримувати актуальну інформацію про стан атмосферного повітря.

Практична експлуатація пристрою передбачає і правильне розміщення датчика у місці проведення вимірювань. При встановленні у приміщенні пристрій може розміщуватися вертикально чи збоку, що дозволяє забезпечити доступ повітря до сенсорних елементів. Важливо уникати горизонтального розташування пристрою, оскільки у такому випадку можуть перекриватися вентиляційні отвори сенсорів або накопичуватися пил, що негативно впливає на точність вимірювань. При використанні на відкритому повітрі пристрій встановлюється в спеціальному корпусі із захисним елементом, який запобігає потраплянню вологи та надмірного пилу до сенсорів.

В практичних системах моніторингу якості повітря сенсорний комплект Smart Citizen Kit використовується як автономний вимірювальний вузол у розподіленій мережі екологічного контролю. Після встановлення у конкретній точці пристрій починає регулярно фіксувати параметри навколишнього середовища, зокрема концентрацію дрібнодисперсних частинок, температуру, вологість та інші екологічні показники. Отримані дані можуть використовуватися для оцінки стану атмосферного повітря в певному районі чи для аналізу змін показників протягом тривалого часу.

Одним із поширених варіантів практичного використання є створення локальної мережі екологічного моніторингу. В такій системі кілька датчиків встановлюються у різних точках міста, або досліджуваної території. Кожен із пристроїв передає результати вимірювань до спільної інформаційної платформи, де вони об'єднуються в єдину базу даних. Завдяки цьому формується карта розподілу забруднення повітря, яка дозволяє визначати райони з підвищеним рівнем забруднення.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		38

Ще одним прикладом використання є проведення короткострокових досліджень стану повітря в певному місці. У цьому випадку датчик встановлюється у визначеній точці на певний період часу, після чого накопичені дані аналізуються для оцінки впливу різних факторів на якість повітря. Такий підхід може застосовуватися під час дослідження впливу транспортних потоків, роботи промислових підприємств, або інших джерел забруднення.

Практичне використання комплекту, теж, передбачає можливість автономної роботи у випадку відсутності доступу до мережі Інтернет. В такому режимі всі результати вимірювань зберігаються на карті пам'яті microSD. Після завершення періоду вимірювань карта пам'яті може бути підключена до комп'ютера для зчитування даних та їх подальшого аналізу. Такий режим роботи дозволяє використовувати пристрій навіть у місцях із нестабільним, або відсутнім мережевим з'єднанням.

Однією з важливих особливостей сенсорного комплекту Smart Citizen Kit є можливість інтеграції у комплексні інформаційні системи моніторингу навколишнього середовища. Після підключення до мережі Wi-Fi пристрій передає виміряні дані до онлайн-платформи, де вони зберігаються у централізованій базі даних та відображаються у вигляді графіків і статистичних показників. Це дозволяє користувачам у реальному часі отримувати інформацію про стан атмосферного повітря та відстежувати зміни параметрів середовища.

Платформа, також, дозволяє об'єднувати кілька датчиків у єдині дослідницькі проєкти, або експерименти. Для цього у системі створюється окрема група пристроїв, у межах якої зберігаються та аналізуються результати вимірювань з різних точок спостереження. Такий підхід значно спрощує роботу з великими масивами екологічних даних та дозволяє здійснювати порівняльний аналіз показників у різних місцях.

Інтеграція пристрою у комплексну систему моніторингу також передбачає можливість автоматичної передачі даних до інших програмних

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		39

платформ за допомогою спеціальних протоколів обміну інформацією. В процесі налаштування користувач може активувати функцію пересилання даних до інших систем, що дозволяє використовувати отримані результати у різних аналітичних, або дослідницьких інструментах. Такий підхід забезпечує високу гнучкість використання пристрою та дозволяє інтегрувати його у різні інформаційні екосистеми екологічного моніторингу.

2.5 Основні технічні характеристики датчика моніторингу якості повітря

Сенсорний комплект Smart Citizen Kit призначений для постійного вимірювання параметрів атмосферного середовища та передачі цих даних до інформаційних систем моніторингу. Технічні характеристики пристрою визначають можливості системи щодо точності вимірювань, швидкості отримання даних, стабільності роботи та умов експлуатації. В межах системи використовується набір цифрових сенсорів, кожен з яких призначений для вимірювання окремого параметра навколишнього середовища. Основні вимірювані параметри включають температуру повітря, відносну вологість, атмосферний тиск, рівень шуму, освітленість та концентрацію дрібнодисперсних частинок пилу.

Вимірювальні можливості сенсорного комплекту визначаються характеристиками встановлених сенсорів. Датчик температури Sensirion SHT31 забезпечує вимірювання температури повітря у градусах Цельсія та відносної вологості у відсотках. Цей сенсор використовується як для внутрішніх вимірювань, так і для підключення зовнішнього погодного датчика, що дозволяє проводити моніторинг параметрів атмосферного середовища у різних умовах експлуатації.

Для вимірювання атмосферного тиску використовується барометричний сенсор NXP MPL3115A2, який визначає значення тиску у кілопаскалях. Цей параметр є важливим для аналізу метеорологічних умов та їх впливу на поширення забруднювальних речовин у повітрі. Сенсор освітленості Rohm BH1721FVC вимірює рівень освітлення у люксах, що дозволяє оцінювати

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
						40
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

рівень природного або штучного освітлення у місці встановлення датчика.

Особливу роль у системі відіграє сенсор дрібнодисперсних частинок Sensirion SEN5X, який забезпечує визначення концентрації твердих частинок у повітрі. Датчик дозволяє вимірювати концентрації частинок різних розмірів, зокрема PM1, PM2.5, PM4 та PM10, що є стандартними показниками для оцінювання якості атмосферного повітря. Результати вимірювань подаються у мікрограмах на кубічний метр повітря ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), що відповідає міжнародним стандартам екологічного моніторингу.

Окрім цього, система може включати додаткові модифікації сенсорів серії SEN5X, які здатні визначати індекси летких органічних сполук (VOC) та оксидів азоту (NO_x). Такі можливості розширюють функціональність пристрою та дозволяють проводити більш детальний аналіз стану атмосферного повітря.

Енергоспоживання сенсорного комплексу визначається характеристиками електронної плати та встановлених сенсорів. Основним джерелом живлення системи є зовнішній блок живлення (рис. 2.1), який забезпечує перетворення напруги мережі 230 В змінного струму у стабілізовану напругу 5 В постійного струму для роботи електронних компонентів. В системі, також, передбачено резервну акумуляторну батарею, яка забезпечує короткочасну підтримку роботи пристрою у випадку перебоїв електропостачання.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		41

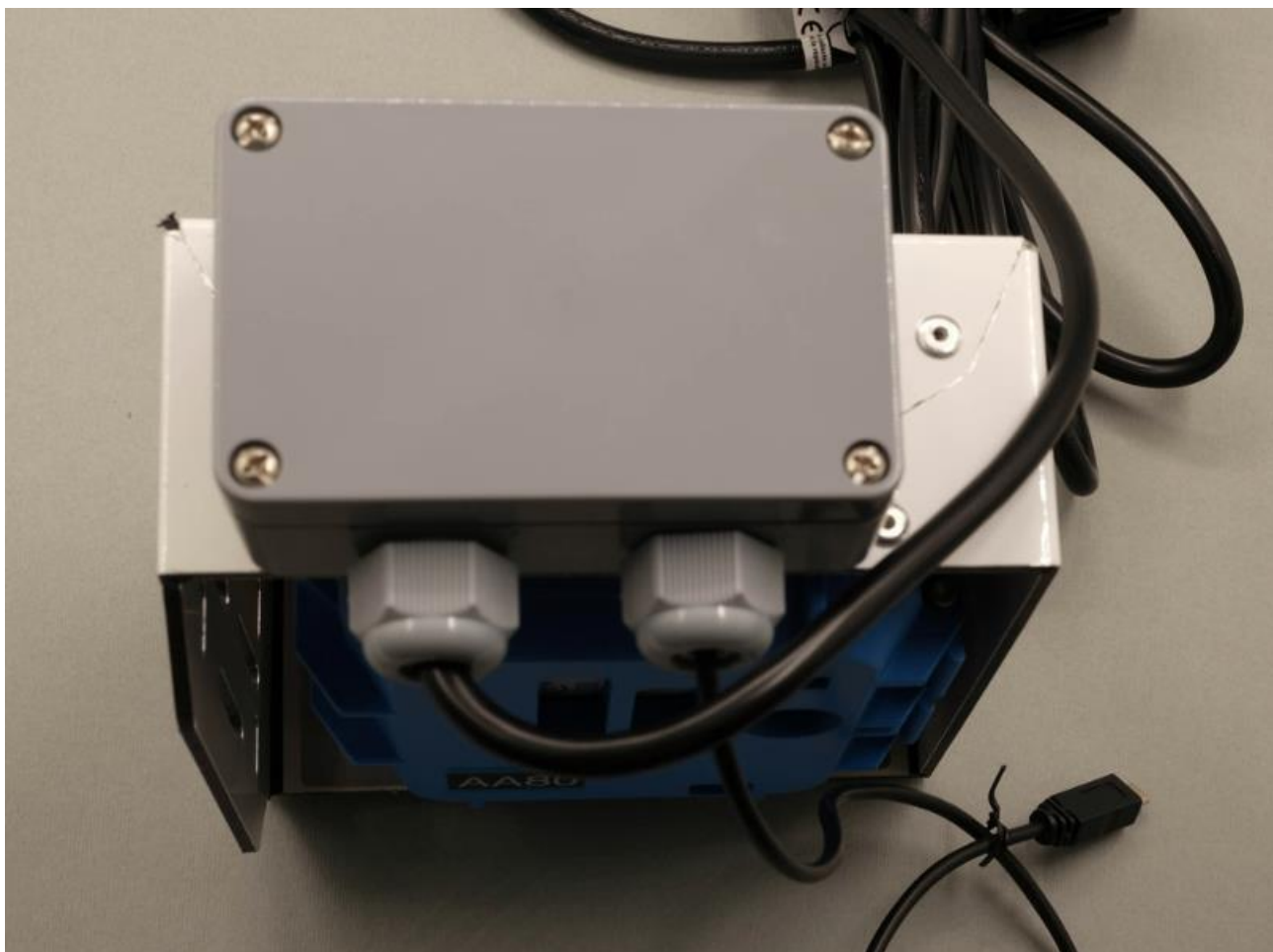


Рисунок 2.1 – Блок живлення

Сенсор частинок Sensirion SEN5X, який використовується у комплекті, характеризується відносно низьким енергоспоживанням. Типовий робочий струм цього сенсора знаходиться у діапазоні приблизно від 0,7 до 70 мА, тоді як максимальний струм може досягати близько 100 мА. Час запуску сенсора становить близько 50 мілісекунд, що забезпечує швидке початок вимірювань після подачі живлення.

Швидкодія системи визначається частотою зчитування показників сенсорів та швидкістю передачі даних до інформаційної платформи. В стандартному режимі роботи система може виконувати вимірювання параметрів середовища з коротким інтервалом часу, після чого отримані дані передаються до сервера моніторингу через бездротове з'єднання. Такий спосіб дозволяє отримувати майже безперервний потік даних та відстежувати зміну показників якості повітря в режимі реального часу.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		42

Експлуатаційні параметри пристрою включають й допустимі температурні та кліматичні умови роботи. Сенсорні модулі серії SEN5X можуть працювати у температурному діапазоні приблизно від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ та при відносній вологості до 90 % без утворення конденсату. Такі параметри дозволяють використовувати систему моніторингу як в приміщеннях, так і в зовнішньому середовищі за умови відповідного захисту корпусу.

Габаритні характеристики пристрою, теж, важливий технічний параметр. Залежно від конфігурації корпусу, розміри станції можуть становити приблизно $11,7 \times 11,5 \times 5,5$ см для внутрішнього використання або близько $18,2 \times 14,7 \times 8,5$ см для зовнішньої установки. Маса пристрою складає приблизно 350 г для внутрішньої версії та близько 1 кг для зовнішньої версії з додатковим захисним корпусом.

Загалом, технічні характеристики сенсорного комплекту Smart Citizen Kit забезпечують можливість отримання точних та стабільних даних про стан атмосферного повітря. Поєднання сучасних сенсорів, цифрової обробки даних, низького енергоспоживання та можливості мережевої передачі інформації робить даний пристрій ефективним інструментом для створення систем моніторингу якості повітря в різних умовах експлуатації.

2.6 Функціональне призначення датчика моніторингу якості повітря

Smart Citizen Kit призначений для безперервного збору, обробки та передачі даних про стан атмосферного повітря. Його основне завдання полягає в забезпеченні повної та достовірної інформації про ключові параметри навколишнього середовища, такі як концентрація дрібнодисперсних частинок, температура, вологість, атмосферний тиск, рівень шуму та освітленість. Завдяки комплексному підходу цей датчик дозволяє не лише контролювати стан повітря, а й отримувати дані, необхідні для аналізу тенденцій забруднення, прогнозування якості повітря та прийняття рішень у сфері екологічного контролю.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		43

Пристрій працює у кількох режимах, що забезпечує гнучкість його застосування. Основний режим – безперервний моніторинг – передбачає регулярне зчитування показників сенсорів із заданим інтервалом та автоматичну передачу даних на онлайн-платформу. Датчик також підтримує автономний режим роботи, у якому всі дані зберігаються на локальній карті пам'яті microSD. Така функція дозволяє використовувати пристрій у місцях із нестабільним або відсутнім підключенням до Інтернету. Крім того, датчик може працювати у тестовому або калібрувальному режимі, що забезпечує налаштування та перевірку точності сенсорів перед початком експлуатації.

Основні функції датчика включають вимірювання концентрації дрібнодисперсних частинок у повітрі, визначення температури та вологості, облік атмосферного тиску, фіксацію рівня освітленості та шумового фону. Кожен сенсор працює у постійному циклі, надсилаючи дані до мікроконтролера, де вони обробляються та формуються у стандартизовані пакети для передачі на платформу моніторингу. Таке поєднання функцій дозволяє формувати точну картину стану повітря та відслідковувати зміни в режимі реального часу.

В системі моніторингу атмосферного повітря датчик виконує ключову роль інформаційного вузла. Він забезпечує отримання первинних даних, на основі яких формуються графіки, статистичні звіти та карти забруднення. Дані з датчика можуть бути інтегровані в мережі з кількох пристроїв, що дозволяє створювати масштабні системи контролю повітря на рівні міста, або окремих районів. Завдяки своїй здатності працювати у стаціонарному та автономному режимах, сенсорний комплект Smart Citizen Kit може бути частиною як локальної системи моніторингу, так і складної розподіленої мережі, де дані від різних пристроїв об'єднуються для комплексного аналізу стану атмосферного середовища.

В цілому, функціональне призначення датчика полягає у забезпеченні безперервного та достовірного збору екологічних даних про стан атмосферного повітря, їх первинній обробці та подальшій передачі до

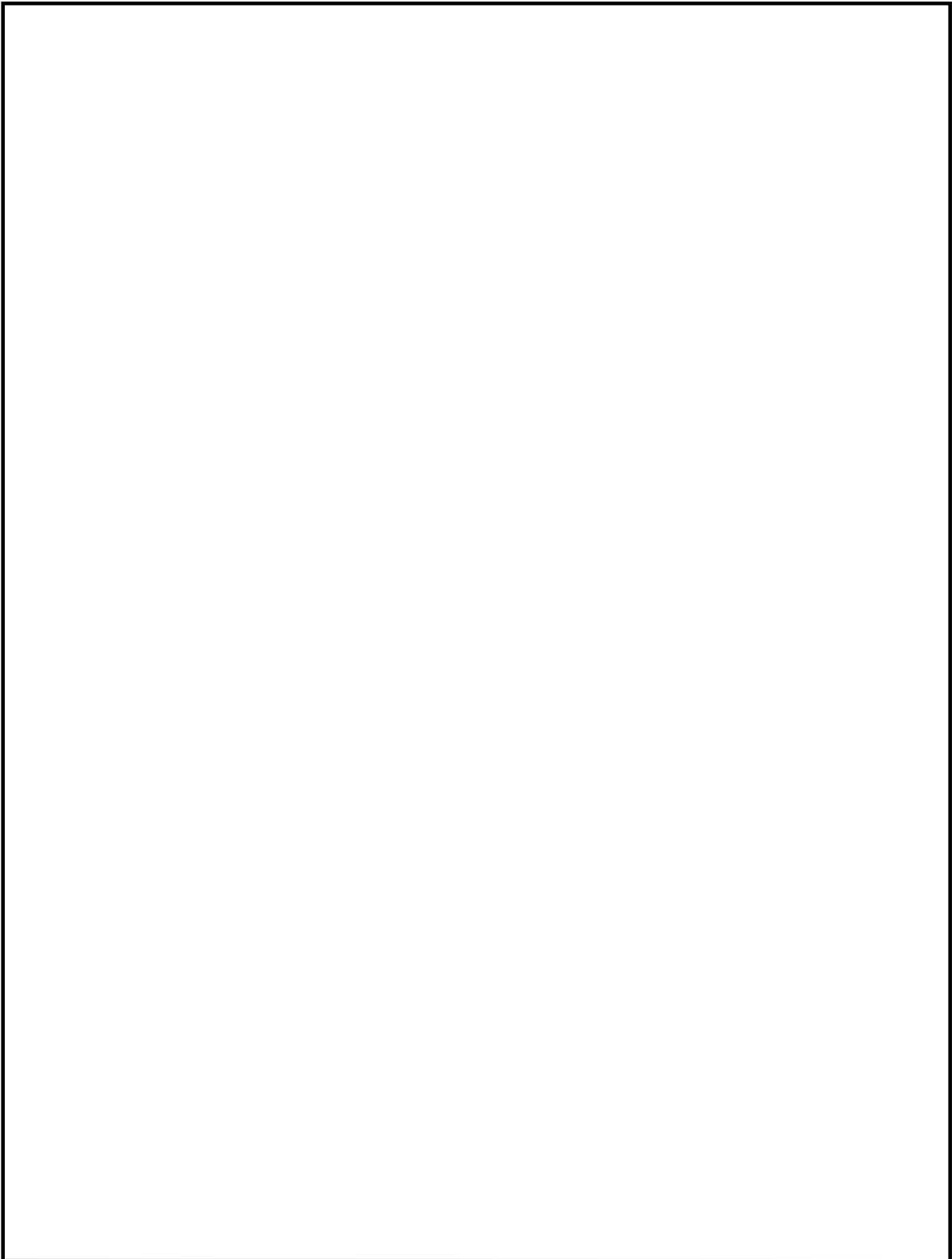
					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		44

інформаційних систем моніторингу. В процесі роботи сенсорні елементи пристрою постійно фіксують параметри навколишнього середовища, зокрема концентрацію дрібнодисперсних частинок, температуру, відносну вологість, атмосферний тиск та інші показники, що характеризують якість повітря. Отримані сигнали від сенсорів передаються до мікроконтролера пристрою, де вони перетворюються у цифрові дані, проходять базову обробку, структуруються та готуються для подальшого зберігання, або передачі до зовнішніх інформаційних платформ.

Датчик виступає важливим первинним елементом у системі екологічного моніторингу, так як саме він забезпечує формування базових вимірювальних даних, на основі яких здійснюється подальший аналіз стану атмосферного середовища. Завдяки регулярному збору інформації система дозволяє відстежувати динаміку зміни показників якості повітря у часі, визначати періоди підвищеного забруднення та аналізувати вплив різних факторів, таких як транспортні потоки, промислові викиди, або погодні умови. В разі розгортання мережі з кількох датчиків формується можливість просторового аналізу забруднення, що дозволяє визначати райони з найбільш несприятливою екологічною ситуацією.

Крім того, отримані з датчика дані можуть використовуватися для створення статистичних звітів, побудови графіків змін параметрів повітря, формування екологічних карт та прогнозування можливих змін стану атмосфери. Така інформація є важливою для проведення наукових досліджень, оцінювання екологічних ризиків та розроблення заходів щодо зниження рівня забруднення повітря

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		45



					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	3. Проектування апаратного забезпечення системи контролю якості атмосферного повітря	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Ніколаєва О.Ю.					46	
Викладач		Тимченко В.Л.						
Консультант								
Н. Контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.						НУК		

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

3.1 Дослідження архітектури системи для контролю якості атмосферного повітря

Архітектура системи контролю якості атмосферного повітря визначає структуру взаємодії всіх технічних компонентів, які забезпечують збір, обробку, передачу та збереження екологічних даних. У розроблюваній системі моніторингу основу становить вимірювальний вузол, побудований на базі сенсорного комплексу Smart Citizen Kit, який виконує функції первинного збору інформації про параметри навколишнього середовища. Архітектура системи формує єдине інформаційне середовище, у межах якого відбувається безперервний обмін даними між сенсорними пристроями, обчислювальними модулями та програмними платформами аналізу даних.

Структура системи побудована за принципом багаторівневої архітектури, де кожен рівень виконує окремі функції у процесі моніторингу атмосферного повітря. На нижньому рівні розташовується апаратний рівень вимірювань, який включає сенсорні модулі для визначення параметрів навколишнього середовища. Ці модулі забезпечують безпосередній контакт із атмосферним повітрям і формують первинні вимірювальні сигнали. До основних вимірюваних параметрів належать концентрації дрібнодисперсних частинок, температура, відносна вологість, атмосферний тиск, освітленість та рівень шуму.

Другий рівень архітектури представлений обчислювальним модулем, який реалізований у вигляді мікроконтролерної плати пристрою (рис. 3.1). Мікроконтролер виконує функції керування сенсорами, зчитування вимірювальних сигналів, перетворення отриманої інформації у цифровий формат та її попередню обробку. На цьому етапі також здійснюється синхронізація роботи сенсорів, фільтрація даних та підготовка інформації до передачі через мережеві інтерфейси.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		47



Рисунок 3.1 – Плата

Наступний рівень архітектури становить комунікаційна підсистема, яка забезпечує передачу вимірювальних даних до зовнішніх інформаційних ресурсів. В даній системі для цього використовується бездротове мережеве підключення Wi-Fi, яке дозволяє передавати дані до серверної платформи у режимі реального часу. Завдяки такому підходу дані можуть оперативно надходити до інформаційної системи, де здійснюється їх подальша обробка та аналіз.

Верхній рівень архітектури системи становить програмно-аналітична платформа, на якій відбувається зберігання, обробка та візуалізація отриманих даних. У цій частині системи формується база екологічних даних, що містить інформацію про результати вимірювань, час їх отримання та місце розташування вимірювального пристрою. На основі цих даних формуються графіки, статистичні показники та аналітичні звіти, які дозволяють оцінювати стан атмосферного повітря та відстежувати зміни екологічної ситуації у часі.

Загальна архітектура системи моніторингу якості атмосферного повітря складається з кількох взаємопов'язаних функціональних компонентів, які забезпечують повний цикл роботи системи – від вимірювання параметрів повітря до їх аналізу та відображення результатів користувачам.

Основним елементом системи є сенсорний вузол моніторингу, що виконує функції збору екологічних даних.

В межах цього вузла встановлюються сенсорні модулі, які вимірюють фізичні та хімічні характеристики атмосферного середовища. Дані з цих сенсорів надходять до мікроконтролера пристрою, який здійснює їх обробку та формує цифрові пакети даних.

Наступним елементом архітектури є комунікаційний модуль, що забезпечує передачу інформації від вимірювального вузла до центральної інформаційної системи. Передача даних здійснюється через бездротову мережу Wi-Fi, що дозволяє інтегрувати датчики у розподілену мережу моніторингу.

Важливою складовою архітектури є серверна частина системи, яка виконує функції централізованого зберігання екологічних даних. У межах серверної системи створюється база даних, де накопичується інформація з усіх підключених датчиків. Це дозволяє здійснювати довгостроковий аналіз стану атмосферного повітря та формувати статистичні показники.

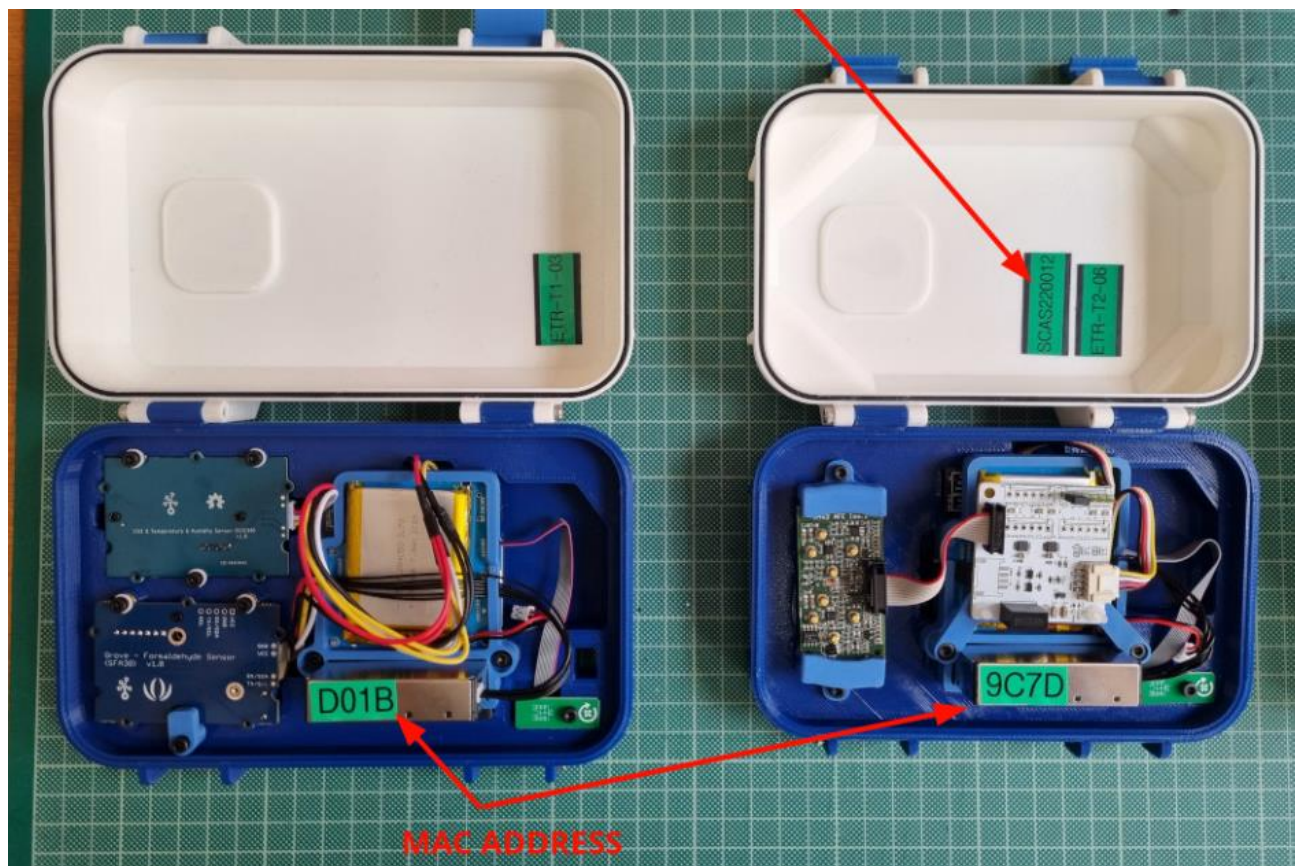


Рисунок 3.2 – Ідентифікатори

Останнім елементом архітектури є користувацький інтерфейс, через який здійснюється доступ до інформації про стан повітря. Інтерфейс може бути реалізований у вигляді веб-платформи, або програмного додатку, що відображає результати вимірювань у вигляді графіків, таблиць та інтерактивних карт.

Загальна архітектура системи моніторингу формує єдину інформаційну структуру, у якій кожен компонент виконує визначену функцію у процесі збору та аналізу екологічних даних.

Взаємодія основних блоків системи моніторингу атмосферного повітря здійснюється у вигляді послідовного інформаційного процесу, що включає етапи вимірювання, обробки, передачі та аналізу даних. На першому етапі сенсорні модулі виконують вимірювання параметрів навколишнього середовища. Кожен сенсор генерує сигнал, що відповідає певному фізичному параметру, наприклад концентрації пилових частинок або температурі повітря.

Отримані сигнали надходять до мікроконтролера вимірювального вузла, де відбувається їх цифрове перетворення. На цьому етапі дані проходять процедуру первинної обробки, що включає усереднення значень, перевірку коректності показників та формування структурованих пакетів даних.

Після обробки інформація передається до комунікаційного модуля, який забезпечує відправлення даних через бездротову мережу. Передача даних здійснюється у вигляді цифрових пакетів, що містять значення вимірюваних параметрів, часові мітки та ідентифікаційні дані пристрою.

Далі отримані дані надходять до серверної частини системи, де вони зберігаються у централізованій базі даних. В межах серверної інфраструктури виконується обробка та аналіз інформації, що дозволяє визначати тенденції змін параметрів атмосферного повітря та виявляти можливі перевищення допустимих норм забруднення.

На завершальному етапі оброблені дані відображаються у користувацькому інтерфейсі системи.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		50

Користувачі можуть переглядати поточні значення параметрів повітря, аналізувати графіки змін показників та отримувати інформацію про стан атмосферного середовища у реальному часі.

3.2 Структурна схема блоку моніторингу якості повітря

Аналіз структурної схеми блоку моніторингу якості повітря, зображеної на рисунку 3.3, дозволяє виділити декілька ключових функціональних вузлів, кожен із яких виконує визначену роль у процесі збору та обробки екологічних даних.

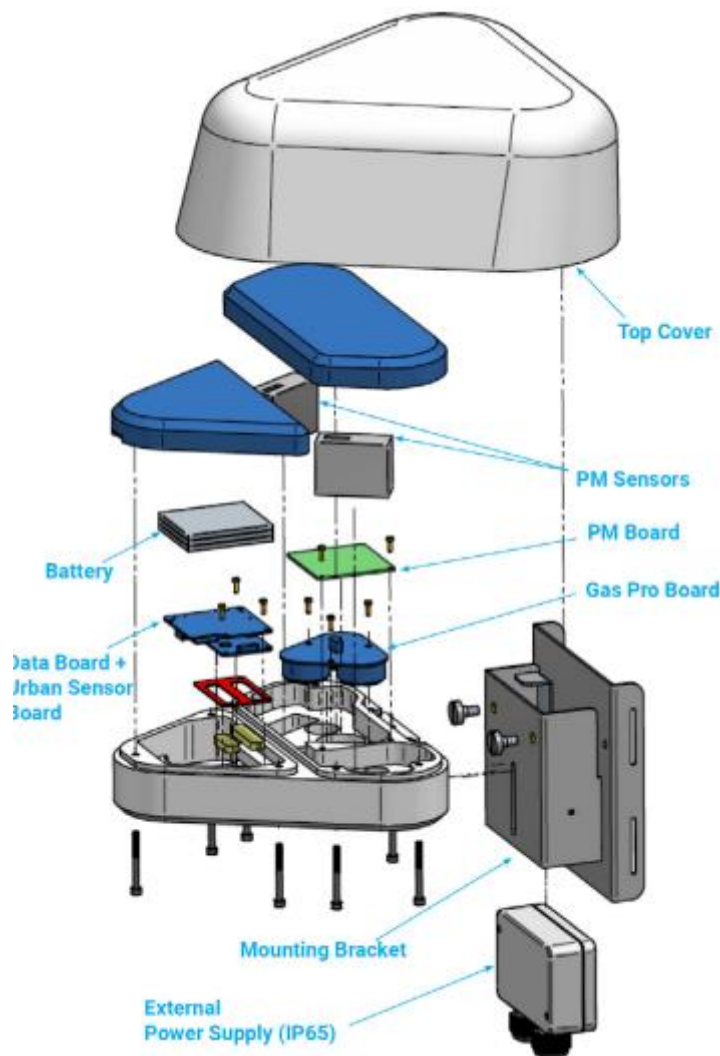


Рисунок 3.3 – Структурна схема блоку моніторингу

Першим елементом є верхня кришка корпусу (Top Cover), яка виконує захисну функцію. Вона забезпечує механічний захист внутрішніх компонентів системи від зовнішніх впливів, таких як пил, волога або механічні пошкодження. Конструкція кришки, також, передбачає спеціальні вентиляційні отвори, які забезпечують циркуляцію повітря через сенсорні елементи.

Наступним важливим вузлом є модуль сенсорів дрібнодисперсних частинок (PM Sensors). Цей компонент призначений для визначення концентрації твердих частинок у повітрі, зокрема фракцій PM1, PM2.5 та PM10. Сенсор працює на основі лазерного принципу вимірювання та формує електричний сигнал, пропорційний концентрації частинок у повітрі.

Безпосередньо під сенсорами розташована плата керування сенсорами твердих частинок (PM Board). Вона виконує функцію електричного інтерфейсу між сенсорним модулем і основною платою системи. Ця плата забезпечує живлення сенсора, передачу вимірювальних сигналів та їх первинну обробку.

Ще одним функціональним вузлом є плата газових сенсорів (Gas Pro Board). Даний модуль використовується для підключення сенсорів, що вимірюють концентрацію газових компонентів повітря, таких як леткі органічні сполуки, або інші газові забруднювачі. Ця плата розширює функціональні можливості системи та дозволяє здійснювати комплексний аналіз якості атмосферного повітря.

Центральним елементом всієї системи є основна плата обробки даних (Data Board + Urban Sensor Board). Вона містить мікроконтролер, який виконує функції керування роботою всіх сенсорів, обробки отриманих сигналів та формування цифрових пакетів даних. Саме ця плата відповідає за координацію роботи всієї системи та передачу інформації до зовнішніх інформаційних платформ.

Окремим елементом системи є акумуляторна батарея (Battery), яка забезпечує автономну роботу пристрою. Батарея дозволяє підтримувати робо-

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		52

ту системи у випадках тимчасового відключення зовнішнього живлення або при використанні пристрою у польових умовах.

Конструктивну основу системи становить монтажна платформа та кронштейн кріплення (Mounting Bracket). Цей елемент використовується для встановлення станції на стіну, опору або іншу конструкцію. Він забезпечує стабільне положення пристрою та захищає його від механічних коливань.

Живлення всієї системи забезпечується за допомогою зовнішнього блоку живлення (External Power Supply IP65), який має ступінь захисту IP65. Такий блок дозволяє використовувати систему моніторингу у зовнішньому середовищі та забезпечує стабільне електроживлення всіх електронних компонентів.

Функціонування системи моніторингу якості атмосферного повітря передбачає безперервний обмін інформацією між її основними компонентами. Потоки даних в системі організовані таким чином, щоб забезпечити ефективний процес збору, обробки та передачі екологічної інформації.

Перший етап формування потоків даних відбувається у сенсорних модулях. У процесі роботи сенсори постійно вимірюють параметри навколишнього середовища. Результати вимірювань формуються у вигляді електричних сигналів, які передаються до відповідних плат керування сенсорами.

Далі отримані сигнали надходять до основної плати обробки даних. На цьому етапі мікроконтролер здійснює перетворення сигналів у цифровий формат. Одночасно виконується фільтрація шумів, перевірка коректності показників та формування структурованих пакетів даних.

Після обробки дані передаються до комунікаційного модуля системи, який відповідає за передачу інформації до зовнішніх інформаційних ресурсів. Передача даних може здійснюватися через бездротову мережу, або зберігатися у локальній пам'яті пристрою для подальшого використання.

Отримані дані надходять до серверної частини системи моніторингу, де вони зберігаються у базі даних та використовуються для подальшого аналізу.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		53

На цьому етапі формується інформаційна база, яка дозволяє оцінювати динаміку змін якості повітря, визначати тенденції забруднення та здійснювати екологічний контроль.

Загалом, потоки даних у системі моніторингу проходять декілька послідовних етапів: від сенсорних модулів до мікроконтролера, далі до комунікаційного інтерфейсу та до інформаційної системи зберігання і аналізу даних. Така організація інформаційних потоків забезпечує ефективну роботу системи моніторингу та дозволяє отримувати актуальні дані про стан атмосферного повітря у режимі реального часу.

3.3 Комплексний аналіз апаратної частини проєктованої системи моніторингу якості повітря

До складу апаратної частини системи моніторингу входить декілька ключових компонентів, які виконують різні функції у процесі збору та обробки даних про стан атмосферного повітря. Центральним елементом системи є Data Board, що виконує роль керуючого модуля. Вона містить мікроконтролер SAMD21, який відповідає за обробку сигналів сенсорів, а також модуль бездротового зв'язку ESP8266 для передачі даних через мережу Wi-Fi.

Другим важливим елементом є Urban Sensor Board, яка містить інтегрований набір сенсорів для вимірювання базових параметрів навколишнього середовища. Ця плата забезпечує вимірювання температури, відносної вологості, рівня освітленості, атмосферного тиску та шуму. Дані сенсори формують основний масив екологічної інформації, який використовується для аналізу стану повітря.

Наступним компонентом системи є PM Sensor Board, яка забезпечує роботу сенсорів дрібнодисперсних частинок. Ці сенсори визначають концентрацію пилу у повітрі, що є одним із головних показників забруднення атмосфери у міському середовищі.

Для розширення функціональності системи може використовуватися Gas

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		54

Pro Board, яка дозволяє підключати електрохімічні сенсори для вимірювання концентрації різних газових забруднювачів. Цей модуль містить спеціалізовані потенціостатичні схеми керування сенсорами, що забезпечують високу точність вимірювань газових компонентів повітря.

Окрім сенсорних плат, система включає також модулі живлення, акумуляторну батарею, карту пам'яті microSD та інтерфейсні роз'єми для підключення додаткових сенсорів. Всі ці компоненти формують єдину апаратну структуру системи моніторингу.

Взаємодія апаратних модулів у системі моніторингу організована за принципом централізованого управління, де головну роль виконує центральна плата Data Board. В процесі роботи всі сенсорні модулі підключені до цієї плати через цифрові інтерфейси зв'язку, такі як I2C, SPI чи UART. Через ці інтерфейси мікроконтролер отримує дані від сенсорів та передає керуючі сигнали для їх роботи.

Сенсорна плата Urban Sensor Board здійснює первинні вимірювання параметрів середовища та передає отримані дані до Data Board. Аналогічно працюють і допоміжні сенсорні модулі, такі як PM Sensor Board чи Gas Pro Board. Кожен з цих модулів передає результати вимірювань до центрального контролера, який виконує їх обробку, фільтрацію та формування пакетів даних.

Після обробки інформація передається до комунікаційного модуля Wi-Fi, який інтегрований у Data Board. Через цей модуль система підключається до бездротової мережі та передає дані до серверної платформи моніторингу. У випадку відсутності мережевого з'єднання система може тимчасово зберігати дані на карті пам'яті microSD, після чого передавати їх до серверної системи при відновленні зв'язку.

Отже, взаємодія апаратних модулів системи будується за принципом послідовного обміну інформацією: сенсори формують вимірювальні сигнали, сенсорні плати передають ці сигнали до центрального контролера, а контролер виконує обробку даних та передає їх до інформаційної системи.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		55

Така структура забезпечує стабільну та ефективну роботу системи моніторингу атмосферного повітря та дозволяє отримувати точні екологічні дані у режимі реального часу.

3.4 Розгляд складових компонентів: модулів, мікроконтролерів

В проєктованій системі моніторингу якості атмосферного повітря апаратна структура формується на основі декількох взаємопов'язаних електронних компонентів, ключову роль серед яких відіграють мікроконтролер та допоміжні електронні модулі. Саме ці компоненти забезпечують керування сенсорними елементами, обробку отриманих даних, організацію взаємодії між апаратними вузлами та передачу інформації до інформаційної платформи моніторингу.

У межах реалізації системи, побудованої на базі платформи Smart Citizen Kit, використовується архітектура, у якій центральний обчислювальний вузол поєднується з набором спеціалізованих сенсорних плат і комунікаційних модулів. Це дозволяє забезпечити гнучкість системи, оскільки різні модулі можуть бути додані або замінені без зміни основної архітектури пристрою.

Основною задачею мікроконтролера у складі системи є управління роботою сенсорів, синхронізація процесу вимірювань, обробка отриманих даних та передача результатів до мережевих інтерфейсів. Водночас, допоміжні електронні модулі забезпечують виконання окремих функцій системи, таких як вимірювання екологічних параметрів, зберігання інформації, енергозабезпечення та організація бездротового зв'язку.

Головним елементом електронної частини системи моніторингу є мікроконтролер, який виконує функції керування усіма апаратними модулями. У складі обраної платформи використовується мікроконтролер **ATSAMD21**, що входить до сімейства мікроконтролерів компанії Microchip Technology. Даний мікроконтролер побудований на базі 32-бітної архітектури ARM Cortex-M0+ і використовується у великій кількості сучасних вбудованих систем.

Мікроконтролер ATSAM21 має достатню обчислювальну продуктивність для обробки сигналів сенсорів та виконання алгоритмів керування системою [7]. Його тактова частота становить до 48 МГц, що забезпечує швидке виконання операцій обробки даних. Крім того, мікроконтролер містить вбудовану флеш-пам'ять для збереження програмного коду та оперативну пам'ять для виконання програм.

Важливою особливістю цього мікроконтролера є наявність широкого набору периферійних інтерфейсів, які використовуються для взаємодії з сенсорними та комунікаційними модулями системи. До таких інтерфейсів належать І²С (Inter-Integrated Circuit), SPI, UART та аналогові входи для обробки сигналів сенсорів. Завдяки цьому мікроконтролер може одночасно працювати з декількома сенсорними модулями та забезпечувати синхронний обмін даними між ними.

Ще однією важливою характеристикою ATSAM21 є низьке енергоспоживання. Оскільки система моніторингу часто працює у польових умовах та може використовувати автономне живлення, енергоефективність мікроконтролера є критично важливою характеристикою. Використання даного мікроконтролера дозволяє зменшити енергоспоживання системи та збільшити тривалість її автономної роботи.

Також, мікроконтролер підтримує сучасні програмні середовища розробки та має широке програмне забезпечення з відкритим кодом, що значно спрощує розробку та модифікацію програмного забезпечення системи моніторингу. Це дозволяє легко інтегрувати нові сенсори, розширювати функціональність системи та реалізовувати додаткові алгоритми обробки даних.

Окрім центрального мікроконтролера, у складі системи моніторингу використовуються допоміжні електронні модулі, які забезпечують виконання спеціалізованих функцій. До таких модулів належать сенсорні плати, комунікаційні модулі, модулі збереження даних та системи живлення.

Одним із основних допоміжних модулів є сенсорна плата **Urban Sensor Board**, яка інтегрує декілька сенсорів навколишнього середовища. На цій платі розміщені датчики температури, відносної вологості, атмосферного тиску, освітленості та шуму. Вони забезпечують базову інформацію про стан навколишнього середовища та передають виміряні значення до центрального мікроконтролера через цифровий інтерфейс I²C (Inter-Integrated Circuit).

Для визначення рівня забруднення повітря твердими частинками використовується окремий модуль **PM Sensor Board**, який підключається до основної плати системи. Цей модуль забезпечує роботу лазерного сенсора частинок та передає дані про концентрацію пилу різних фракцій до центрального контролера. Отримані значення використовуються для оцінки рівня забруднення атмосферного повітря.

В системі, теж, використовується модуль **Gas Pro Board**, який дозволяє підключати електрохімічні сенсори для вимірювання концентрації газових компонентів повітря. Завдяки використанню спеціалізованих електронних схем цей модуль забезпечує стабільну роботу газових сенсорів та високу точність вимірювань.

Важливим компонентом системи є й комунікаційний модуль бездротового зв'язку, який реалізований на базі мікросхеми ESP8266 Wi-Fi Module. Цей модуль забезпечує підключення пристрою до бездротової мережі та передачу даних до серверної частини системи моніторингу. Через цей модуль результати вимірювань можуть передаватися до хмарної платформи у режимі реального часу.

Окрім цього, у системі використовується модуль збереження даних на карті пам'яті microSD. Він дозволяє зберігати результати вимірювань локально у випадку відсутності підключення до мережі або для подальшого аналізу даних.

Живлення системи забезпечується за допомогою акумуляторної батареї та зовнішнього блоку живлення. Наявність акумулятора дозволяє системі

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		58

працювати автономно, а зовнішнє джерело живлення забезпечує стабільну роботу пристрою при стаціонарному встановленні.

Загалом, допоміжні електронні модулі у складі системи моніторингу виконують функції вимірювання параметрів навколишнього середовища, передачі даних, збереження інформації та забезпечення живлення пристрою. Їх взаємодія з центральним мікроконтролером формує повноцінну апаратну платформу системи моніторингу якості атмосферного повітря.

3.5 Опис електричної схеми

Електрична схема системи моніторингу якості атмосферного повітря визначає структуру з'єднання всіх електронних компонентів пристрою, включаючи мікроконтролер, сенсорні модулі, комунікаційні інтерфейси та систему живлення. Саме електрична схема забезпечує правильну взаємодію між усіма апаратними елементами системи та дозволяє організувати стабільний процес вимірювання, обробки та передачі даних.

У проєктованій системі, що базується на платформі Smart Citizen Kit, електрична схема побудована за модульним принципом. Центральним елементом схеми є плата обробки даних, на якій розміщений мікроконтролер та комунікаційний модуль. До цієї плати підключаються всі сенсорні модулі системи через стандартні електронні інтерфейси. Така структура забезпечує можливість централізованого керування усіма компонентами та спрощує процес інтеграції додаткових сенсорів у систему.

Основним завданням електричної схеми є забезпечення коректного розподілу живлення між усіма компонентами, організація каналів передачі даних та забезпечення стабільності роботи системи у різних режимах експлуатації. Для цього у схемі передбачені стабілізатори напруги, фільтруючі елементи, інтерфейсні шини та захисні електронні компоненти.

В структурі електричної схеми всі компоненти системи поділяються на декілька функціональних підсистем. До них належать підсистема керування, підсистема сенсорних вимірювань, підсистема комунікації та підсистема

живлення. Кожна з цих підсистем виконує окрему функцію у загальній роботі пристрою та має власні електричні з'єднання з центральним контролером.

З технічної точки зору електрична схема системи організована таким чином, щоб забезпечити стабільну роботу сенсорних модулів, мінімізувати електричні перешкоди та гарантувати точність вимірювань. Для цього використовуються цифрові інтерфейси передачі даних, які дозволяють зменшити вплив електромагнітних шумів та забезпечити високу швидкість обміну інформацією між модулями системи.

Принципова електрична схема системи моніторингу якості повітря відображає всі електричні з'єднання між основними компонентами пристрою. Центральним вузлом цієї схеми є мікроконтролер ATSAM21, який виконує функцію керування всією системою та координує роботу сенсорних модулів.

Мікроконтролер підключений до сенсорних плат через цифрову шину I²C. Цей інтерфейс використовується для передачі даних від сенсорів температури, вологості, атмосферного тиску та освітленості, які розміщені на платі Urban Sensor Board. Через цю ж шину здійснюється передача керуючих сигналів, що дозволяє мікроконтролеру запускати процес вимірювання та отримувати результати вимірювань у цифровому форматі.

Сенсор частинок пилу підключається до мікроконтролера через послідовний інтерфейс UART. Такий тип з'єднання забезпечує швидку передачу великого обсягу даних, що формуються лазерним сенсором у процесі вимірювання концентрації частинок різних фракцій. Отримані дані передаються до мікроконтролера у вигляді цифрових пакетів, які містять інформацію про концентрації PM₁, PM_{2.5} та PM₁₀.

Для роботи газових сенсорів у схемі використовується спеціалізований аналогово-цифровий тракт. Електрохімічні сенсори формують аналоговий сигнал, який передається до аналого-цифрового перетворювача, вбудованого у мікроконтролер. Після перетворення сигналу у цифровий формат мікроконтролер виконує його подальшу обробку та формує значення концентрації відповідних газових компонентів повітря.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		60

Передача даних до інформаційної платформи здійснюється через бездротовий модуль ESP8266 Wi-Fi Module, який підключений до мікроконтролера через інтерфейс UART. Цей модуль відповідає за встановлення з'єднання з бездротовою мережею та передачу сформованих пакетів даних до серверної частини системи моніторингу.

У принциповій електричній схемі передбачено й підключення карти пам'яті microSD через інтерфейс SPI. Цей інтерфейс забезпечує швидкий обмін даними між мікроконтролером та пристроєм збереження інформації. Карта пам'яті використовується для локального запису результатів вимірювань у випадках відсутності підключення до мережі або для створення резервної копії даних.

Підсистема живлення у схемі включає зовнішній блок живлення, акумуляторну батарею та стабілізатори напруги. Стабілізатори забезпечують формування стабільних рівнів напруги 3.3 В та 5 В, які використовуються для живлення різних електронних компонентів системи. Завдяки цьому забезпечується стабільна робота сенсорів та мікроконтролера.

Підключення основних компонентів системи моніторингу реалізується з урахуванням технічних вимог до роботи сенсорів, мікроконтролера та комунікаційних модулів. Особливістю побудови електричних з'єднань є використання стандартних цифрових інтерфейсів, які забезпечують стабільний обмін даними між модулями системи.

Сенсорна плата Urban Sensor Board підключається до центральної плати через інтерфейс I²C, який дозволяє одночасно підключати декілька сенсорів до однієї шини. Для цього використовуються лінії SDA та SCL, що забезпечують двонаправлену передачу даних між сенсорами та мікроконтролером.

Модуль вимірювання концентрації твердих частинок підключається через послідовний інтерфейс UART. Для цього використовуються дві основні лінії передачі даних – RX та TX. Такий тип підключення дозволяє передавати великі обсяги даних від сенсора до мікроконтролера з високою швидкістю.

Газові сенсори підключаються через аналогові входи мікроконтролера.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		61

Оскільки ці сенсори формують аналоговий електричний сигнал, в схемі передбачені додаткові електронні компоненти для стабілізації сигналу, включаючи резистори, фільтруючі конденсатори та підсилювачі сигналу.

Комунікаційний модуль Wi-Fi інтегрується у систему через інтерфейс UART та використовує окрему лінію живлення 3.3 В. Так як модуль Wi-Fi споживає відносно великий струм під час передачі даних, у схемі передбачено додаткові фільтруючі конденсатори для стабілізації напруги живлення.

Підключення карти пам'яті microSD здійснюється через інтерфейс SPI, який використовує чотири основні сигнальні лінії: MOSI, MISO, SCK та CS [7]. Така конфігурація забезпечує швидку передачу даних між мікроконтролером та модулем пам'яті.

Окрему увагу в електричній схемі приділено організації системи живлення. Всі електронні модулі підключені до стабілізованих джерел напруги, що забезпечує захист компонентів від перепадів напруги та електричних перешкод. Крім того, в схемі використовуються захисні діоди та фільтруючі елементи, які запобігають пошкодженню компонентів у випадку короткого замикання або перевантаження.

Тому, особливості підключення компонентів у системі моніторингу визначаються вимогами до стабільності роботи сенсорів, точності вимірювань та надійності передачі даних. Правильна організація електричних з'єднань дозволяє забезпечити ефективну та безперебійну роботу всієї системи моніторингу якості атмосферного повітря.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	4. Метрологічні аспекти обраного датчику моніторингу якості повітря	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Ніколаєва О.Ю.						
Викладач		Тимченко В.Л.					63	
Консультант						НУК		
Н. Контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.								

РОЗДІЛ 4. МЕТРОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОБРАНОГО ДАТЧИКУ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

4.1 Теоретичні засади метрологічного забезпечення датчиків

В системах моніторингу якості атмосферного повітря, що базуються на використанні сучасних сенсорних технологій, важливу роль відіграє метрологічне забезпечення вимірювань. У розроблюваній системі контролю якості повітря, побудованій із використанням сенсорного комплекту Smart Citizen Kit, датчики безпосередньо виконують функцію визначення основних параметрів навколишнього середовища. Тому, необхідно забезпечити правильну інтерпретацію результатів вимірювань, контроль їх точності та стабільності у процесі експлуатації системи.

У практичних системах моніторингу атмосферного повітря датчики працюють в режимі безперервного збору даних. Вони реєструють зміни параметрів середовища, перетворюють фізичні величини у електричні сигнали та передають ці дані до центрального мікроконтролера для подальшої обробки. Для того щоб результати вимірювань були достовірними та могли використовуватися для оцінки екологічного стану території, необхідно враховувати основні метрологічні характеристики сенсорів.

Метрологічне забезпечення у даному випадку полягає у правильному виборі датчиків, контролі їх технічних характеристик, а також в перевірці стабільності їх роботи під час експлуатації системи моніторингу. Особливу увагу приділяють таким параметрам, як точність вимірювань, діапазон вимірюваних значень, чутливість сенсорних елементів та допустима похибка результатів вимірювань.

У процесі роботи системи датчики постійно взаємодіють із зовнішнім середовищем. На результати вимірювань можуть впливати різні фактори, серед яких температура повітря, вологість, атмосферний тиск, а також наявність сторонніх домішок. Тому, під час експлуатації системи необхідно контролювати правильність функціонування сенсорів та періодично переві-

ряти їх робочі характеристики.

У вимірювальних системах контролю якості повітря використовується ряд метрологічних понять, які визначають характеристики роботи датчиків та достовірність отриманих результатів. Одним із ключових елементів таких систем є вимірювальна величина, тобто фізичний параметр середовища, який підлягає визначенню. В системах моніторингу атмосферного повітря до таких величин належать концентрація дрібнодисперсних частинок, температура повітря, відносна вологість та інші екологічні показники.

Результатом вимірювання є числове значення відповідного параметра, яке формується сенсорним модулем після обробки сигналу. У сенсорних системах цей процес відбувається автоматично: датчик сприймає фізичний вплив навколишнього середовища, перетворює його у електричний сигнал, після чого цей сигнал обробляється електронною схемою та передається у цифровому вигляді до мікроконтролера [5].

Важливим метрологічним показником є точність вимірювання, яка характеризує ступінь відповідності отриманого результату реальному значенню вимірюваної величини. У сенсорних системах точність залежить від конструкції датчика, його технічних характеристик та умов експлуатації [6].

Ще одним важливим показником є похибка вимірювання. Вона характеризує різницю між результатом вимірювання та фактичним значенням параметра середовища. Похибка може виникати через особливості роботи сенсора, вплив зовнішніх факторів або обмеження апаратної частини вимірювального пристрою.

Також, важливою характеристикою сенсорів є їх чутливість, тобто здатність реагувати на навіть незначні зміни вимірюваного параметра. В системах моніторингу якості повітря висока чутливість сенсорів дозволяє оперативно фіксувати зміни концентрації забруднювачів та своєчасно реагувати на погіршення екологічної ситуації.

В практичних системах моніторингу атмосферного повітря метрологічне забезпечення відіграє важливу роль у забезпеченні достовірності екологічних

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		65

даних. Оскільки результати вимірювань використовуються для оцінки рівня забруднення повітря та прийняття управлінських рішень, важливо забезпечити правильність і стабільність роботи вимірювальних приладів.

У системах, побудованих на базі сенсорних комплектів, датчики працюють у режимі постійного контролю параметрів навколишнього середовища. Вони формують великий масив даних, який використовується для аналізу стану атмосферного повітря у певному регіоні. Якщо датчики працюють некоректно або мають значні похибки вимірювань, це може призвести до неправильних висновків щодо рівня забруднення.

Через це, в системах моніторингу необхідно контролювати технічний стан датчиків, перевіряти їх метрологічні характеристики та забезпечувати відповідність результатів вимірювань встановленим стандартам. Це дозволяє підвищити довіру до отриманих даних та забезпечити їх практичне використання у сфері екологічного контролю.

Крім того, метрологічне забезпечення дозволяє забезпечити сумісність результатів вимірювань з іншими системами моніторингу. У сучасних екологічних дослідженнях дані часто збираються з великої кількості сенсорних станцій, розташованих у різних точках території. Для того щоб ці дані можна було порівнювати та аналізувати, необхідно забезпечити однакові вимоги до точності та методів вимірювання.

Отже, метрологічне забезпечення є важливою складовою функціонування систем контролю якості атмосферного повітря. Воно забезпечує правильність вимірювань, стабільність роботи сенсорів та можливість використання отриманих даних для аналізу екологічного стану навколишнього середовища.

4.2 Основні метрологічні характеристики датчика

Під час роботи системи датчики виконують безперервний збір інформації про параметри атмосферного середовища. Зокрема, система вимірює концентрацію дрібнодисперсних частинок PM_{2.5} та PM₁₀, температуру повітря, відносну вологість, атмосферний тиск, а також деякі інші параметри

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		66

мікроклімату. Отримані значення передаються до мікроконтролера, де виконуються обробка, перетворення та подальша передача даних до інформаційної платформи моніторингу.

Основні метрологічні характеристики датчика визначають, наскільки точно та стабільно система може визначати значення вимірюваних параметрів. До таких характеристик належать чутливість сенсора, точність вимірювань, допустима похибка результатів, стабільність роботи датчика у часі та відтворюваність результатів вимірювань.

Для системи моніторингу атмосферного повітря важливо, щоб датчики мали достатню чутливість до змін концентрації забруднювачів. Це дозволяє своєчасно фіксувати навіть незначні зміни стану повітря та оперативно реагувати на погіршення екологічної ситуації. У випадку використання сенсорів дрібнодисперсних частинок важливою є здатність датчика визначати концентрації частинок у широкому діапазоні значень, що характерно для умов міського середовища.

Не менш важливими є показники точності та похибки вимірювань. Точність визначає, наскільки близьким є отримане значення до реального параметра середовища. Похибка, в свою чергу, характеризує допустиме відхилення результату вимірювання від фактичного значення. У сенсорних системах моніторингу похибка може залежати від конструкції датчика, умов експлуатації та впливу зовнішніх факторів.

В процесі експлуатації системи також важливо забезпечити стабільність роботи сенсорів та повторюваність результатів вимірювань. Це дозволяє використовувати отримані дані для довготривалого аналізу змін якості повітря та формування екологічної статистики.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		67

Таблиця 4.1 – Основні метрологічні характеристики сенсорів системи моніторингу якості повітря

Параметр вимірювання	Діапазон вимірювання	Типова точність	Особливості вимірювання
Концентрація PM2.5	0 – 1000 µg/m³	±10 %	Визначення дрібнодисперсних частинок у повітрі
Концентрація PM10	0 – 1000 µg/m³	±10 %	Вимірювання частинок пилу більшого розміру
Температура повітря	-40...+85 °C	±0.3 °C	Використовується для корекції інших вимірювань
Відносна вологість	0 – 100 %	±3 %	Впливає на показники сенсорів частинок
Атмосферний тиск	950 – 1100 hPa	±1-2 hPa	Використовується для аналізу метеорологічних умов

Наведені характеристики підтверджують можливість використання сенсорної системи для моніторингу параметрів атмосферного повітря у міському середовищі. Діапазони вимірювань охоплюють значення, які характерні для більшості екологічних ситуацій, що дозволяє використовувати систему для контролю якості повітря у різних умовах експлуатації.

Для оцінювання точності роботи сенсорів виконаємо визначення абсолютної похибки вимірювання концентрації дрібнодисперсних частинок PM2.5. Згідно з технічними характеристиками датчика типова відносна похибка становить ±10 %. Припустимо, що в процесі вимірювання отримано значення концентрації:

$$C_{PM2.5} = 75 \text{ мкг/м}^3$$

Тоді абсолютна похибка визначається за формулою (4.1):

$$\Delta C = \frac{\delta \cdot C}{100} \quad (4.1)$$

де: $\delta = 10\%$

Далі підставляємо значення до формули (4.2):

$$\Delta C = \frac{10 \cdot 75}{100} = 7,5 \text{ мкг/м}^3 \quad (4.2)$$

Отже, реальне значення концентрації може знаходитися в межах:

$$C_{PM_{2.5}} = 75 \pm 7,5 \text{ мкг/м}^3$$

тобто, від 67,5 до 82,5 мкг/м³. Отриманий результат свідчить про достатню точність датчика для оцінювання стану атмосферного повітря та виявлення перевищення допустимих концентрацій забруднювачів.

Для аналізу точності вимірювання температури розглянемо випадок, коли датчик зафіксував температуру навколишнього середовища:

$$t = 24,6^\circ\text{C}$$

Відповідно до технічних характеристик абсолютна похибка становить:

$$\Delta t = \pm 0,3^\circ\text{C}$$

Тоді, фактичне значення температури перебуває в межах:

$$t_{\min} = 24,6 - 0,3 = 24,3^\circ\text{C}$$

$$t_{\max} = 24,6 + 0,3 = 24,9^\circ\text{C}$$

Отриманий інтервал є достатньо вузьким для використання результатів вимірювання під час корекції показників інших сенсорів та аналізу метеорологічних умов.

Для оцінювання відтворюваності результатів вимірювання розглянемо серію з п'яти послідовних вимірювань концентрації PM10:

$$52, 54, 53, 55, 54 \text{ мкг/м}^3$$

Середнє значення визначається за формулою (4.3):

$$\begin{aligned} \overline{C} &= \frac{52 + 54 + 53 + 55 + 54}{5} \\ \overline{C} &= 53,6 \text{ мкг/м}^3 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Максимальне відхилення від середнього значення становить:

$$\Delta C_{\max} = 55 - 53,6 = 1,4 \text{ мкг/м}^3$$

Відносне відхилення дорівнює:

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
						69
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\delta = \frac{1,4}{53,6} \cdot 100 = 2,61\%$$

Отримане значення менше типової похибки датчика, що свідчить про хорошу відтворюваність результатів вимірювань та стабільність роботи сенсорної системи під час безперервного моніторингу атмосферного повітря.

Чутливість датчика визначає його здатність реагувати на зміну концентрації забруднювачів у повітрі. У сенсорних системах контролю якості атмосферного повітря ця характеристика має важливе значення, оскільки рівень забруднення може змінюватися досить швидко під впливом різних факторів, зокрема інтенсивності транспортного руху, промислових викидів або погодних умов.

Сенсори, що використовуються у складі системи моніторингу, здатні визначати зміну концентрації частинок навіть при незначних коливаннях їх кількості у повітрі. Це дозволяє фіксувати короточасні підвищення рівня забруднення та формувати детальні часові ряди вимірювань.

Точність вимірювань є однією з ключових характеристик датчика. Вона визначає, наскільки отримані результати відповідають реальному значенню вимірюваного параметра. В сенсорних системах точність залежить від якості сенсорного елемента, електронної схеми обробки сигналу та умов експлуатації пристрою.

Похибка вимірювання характеризує різницю між результатом вимірювання та фактичним значенням параметра середовища [8]. У сенсорних системах моніторингу атмосферного повітря допустима похибка зазвичай знаходиться у межах декількох відсотків. Наявність невеликої похибки є допустимою, оскільки основною метою таких систем є визначення загальної тенденції зміни рівня забруднення повітря.

Стабільність роботи датчика визначає його здатність зберігати однакові метрологічні характеристики протягом тривалого часу експлуатації. У системах моніторингу якості повітря датчики працюють в режимі безперерв-

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		70

ного збору даних, тому важливо, щоб їх показники залишалися стабільними протягом усього періоду роботи.

Стабільність сенсорів залежить від конструкції вимірювального елемента, якості електронних компонентів та умов навколишнього середовища. Під час експлуатації системи важливо забезпечити правильне розміщення датчика, захист його від надмірної вологості та прямого впливу атмосферних опадів.

Відтворюваність результатів вимірювань характеризує здатність датчика отримувати однакові значення параметра при повторних вимірюваннях за однакових умов середовища. Якщо система має високу відтворюваність, це означає, що результати вимірювань є стабільними та не залежать від випадкових факторів.

В практичних системах моніторингу висока відтворюваність дозволяє формувати достовірні статистичні дані про стан атмосферного повітря. Завдяки цьому можна виконувати довготривалий аналіз екологічної ситуації, виявляти тенденції зміни рівня забруднення та оцінювати ефективність заходів, спрямованих на покращення якості повітря.

4.3 Калібрування і верифікація метрологічних параметрів датчика

Для забезпечення коректної роботи системи контролю якості атмосферного повітря важливим етапом є перевірка та налаштування вимірювальних параметрів сенсорів. У межах розроблюваної системи моніторингу процедура калібрування та перевірки вимірювань спрямована на забезпечення максимальної відповідності показників датчика реальним параметрам атмосферного середовища. Це дозволяє отримувати достовірні екологічні дані, які можуть використовуватися для аналізу стану повітря, оцінювання рівня забруднення та подальшого формування статистичної інформації.

Під час роботи сенсорної системи показники датчиків можуть змінюватися під впливом різних факторів, серед яких температура навколишнього середовища, вологість повітря, концентрація сторонніх домішок та тривалість експлуатації сенсорного елемента. Тому, перед початком експлуатації системи, а також у процесі її використання необхідно виконувати процедури калібрування та перевірки отриманих вимірювань.

В практичній реалізації системи калібрування сенсорів здійснюється шляхом порівняння показників датчика з контрольними, або еталонними значеннями, отриманими від більш точних вимірювальних приладів, або сертифікованих станцій екологічного моніторингу. В такому випадку вимірювання виконуються в однакових умовах середовища, після чого результати порівнюються та визначається різниця між значеннями. У разі виявлення систематичного відхилення застосовується коригування показників, що дозволяє підвищити точність подальших вимірювань.

Практична реалізація калібрування сенсорів якості повітря передбачає використання кількох підходів. Одним із поширених методів є польове калібрування, під час якого датчик розміщується поруч із референтною станцією моніторингу атмосферного повітря. В такому режимі система одночасно фіксує параметри повітря разом з еталонним обладнанням, після чого отримані дані аналізуються та визначається коригувальна залежність між значеннями.

Іншим підходом є лабораторне калібрування, яке передбачає використання спеціальних установок для створення контрольованих концентрацій забруднювачів. У таких умовах можна точно встановити відповідність показників сенсора реальним параметрам середовища та визначити можливі відхилення вимірювань.

У практичних системах моніторингу часто використовується також програмне коригування результатів вимірювань [9]. Після отримання серії порівняльних вимірювань формується коригувальний коефіцієнт чи математична модель, яка застосовується під час обробки даних.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		72

Це дозволяє зменшити вплив систематичної похибки та підвищити достовірність результатів.

Після проведення процедури калібрування необхідно виконати перевірку правильності роботи системи, яка називається верифікацією вимірювань. Основною метою цієї процедури є підтвердження того, що сенсорна система після налаштування забезпечує стабільні та коректні результати вимірювань.

Верифікація проводиться шляхом повторного порівняння показників датчика з контрольними значеннями, або даними інших систем моніторингу. У цьому випадку оцінюється відхилення результатів вимірювань, а також перевіряється стабільність роботи сенсора протягом певного періоду часу.

Під час перевірки також аналізується повторюваність вимірювань. Для цього система виконує серію послідовних вимірювань за однакових умов навколишнього середовища. Якщо різниця між отриманими результатами знаходиться у допустимих межах, це свідчить про стабільність роботи датчика та правильність його налаштування.

Додатково перевіряється коректність передачі даних між сенсорним модулем, мікроконтролером та інформаційною платформою моніторингу. Важливо, щоб усі отримані значення передавалися без втрат та спотворень, так як помилки передачі даних можуть призводити до неправильного аналізу екологічної ситуації.

Загалом, калібрування та верифікація сенсорної системи є важливими етапами забезпечення коректної роботи системи моніторингу атмосферного повітря. Проведення цих процедур дозволяє підвищити точність вимірювань, забезпечити стабільність отриманих даних та гарантувати можливість їх використання для оцінки стану навколишнього середовища та прийняття екологічно обґрунтованих рішень.

4.4 Вплив зовнішніх факторів на метрологічні показники

Під час вимірювання концентрації дрібнодисперсних частинок, температури та інших параметрів середовища сенсори взаємодіють із навко-

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		73

лишнім повітрям. Фізичні властивості повітряного середовища можуть змінюватися залежно від погодних умов, часу доби, інтенсивності сонячного випромінювання та інших факторів. В результаті цього можуть виникати відхилення показників сенсорів, що впливає на точність отриманих даних.

Температура навколишнього середовища є одним із основних факторів, що впливають на роботу електронних компонентів системи моніторингу. При зміні температури можуть змінюватися електричні характеристики сенсорних елементів, що призводить до незначних відхилень у результатах вимірювань [10]. Особливо це проявляється у випадку різких перепадів температури, які характерні для відкритих середовищ експлуатації.

Вологість повітря також має значний вплив на роботу сенсорів. При підвищеній вологості в атмосфері збільшується кількість водяної пари, яка може взаємодіяти з вимірювальними елементами датчиків. У випадку сенсорів дрібнодисперсних частинок вологість може впливати на процес розсіювання світла всередині вимірювальної камери, що використовується для визначення концентрації частинок.

Атмосферний тиск, також, впливає на характеристики повітряного середовища. Зміни тиску можуть впливати на щільність повітря, а також на поведінку аерозольних частинок у повітряному потоці. Це, в свою чергу, може впливати на результати вимірювання концентрації частинок у повітрі.

Таблиця 4.2 – Вплив зовнішніх факторів на точність вимірювань сенсорної системи

Зовнішній фактор	Діапазон зміни	Можливий вплив на вимірювання	Особливості впливу
Температура повітря	-10...+40 °С	Зміна електричних характеристик сенсорів	Може спричиняти незначні відхилення показників
Відносна вологість	20–90 %	Вплив на процес вимірювання аерозольних частинок	При високій вологості можливе завищення показників
Атмосферний тиск	950–1050 hPa	Зміна щільності повітряного середовища	Може впливати на точність вимірювання концентрації частинок
Повітряні потоки	0–5 м/с	Нерівномірне надходження повітря до сенсора	Може викликати коливання результатів

Наведені фактори необхідно враховувати під час встановлення сенсорного пристрою та аналізу отриманих результатів. Правильне розміщення датчика та контроль умов експлуатації дозволяють мінімізувати вплив зовнішніх факторів на точність вимірювань.

Для забезпечення стабільної роботи системи моніторингу використовуються різні методи компенсації впливу зовнішніх умов. Одним із таких методів є використання додаткових сенсорів температури, вологості та атмосферного тиску. Дані, отримані від цих сенсорів, використовуються для корекції основних вимірювань та підвищення точності результатів.

В сенсорному комплекті система вимірює параметри мікроклімату одночасно з концентрацією частинок. Це дозволяє враховувати зміни навколишнього середовища під час обробки даних. Отримана інформація використовується для програмної корекції показників, що зменшує вплив

погодних умов на результати вимірювань.

Ще одним важливим методом компенсації є правильне розміщення сенсорного пристрою у місці вимірювання. Для отримання стабільних результатів датчик рекомендується встановлювати в місцях, захищених від прямого сонячного випромінювання та атмосферних опадів. Також, важливо забезпечити достатню циркуляцію повітря навколо сенсорного модуля, щоб повітря вільно надходило до вимірювального елемента.

Додатково можуть використовуватися програмні алгоритми фільтрації даних. В процесі обробки вимірювань система може аналізувати отримані значення та відфільтровувати аномальні показники, які виникають унаслідок короткочасних змін зовнішніх умов. Це дозволяє підвищити стабільність даних та отримати більш точну картину стану атмосферного повітря.

В цілому, вплив зовнішніх факторів є важливим аспектом експлуатації систем моніторингу якості повітря. Врахування температури, вологості, атмосферного тиску та інших параметрів навколишнього середовища дозволяє підвищити точність вимірювань та забезпечити достовірність отриманих даних, що використовуються для оцінки екологічного стану атмосферного повітря.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		76

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	5. Дослідження якості повітря	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Ніколаєва О.Ю.						
Викладач		Тимченко В.Л.					77	
Консультант						НУК		
Н. Контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.								

РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ПОВІТРЯ

5.1 Дослідження якості повітря за допомогою датчика в домашніх умовах

У межах даного дослідження було проведено практичний моніторинг якості атмосферного повітря у домашніх умовах із використанням сенсорного комплекту Smart Citizen Kit. Вимірювання здійснювалися у двох часових проміжках – у ранковий та вечірній періоди, що дозволило оцінити зміну параметрів повітря протягом доби та виявити характерні особливості мікроклімату приміщення.

Дослідження проводилося у житловому приміщенні, де датчик було встановлено на висоті приблизно 1,5 метра від підлоги, що відповідає зоні дихання людини. Пристрій працював у стандартному режимі збору даних, автоматично фіксуючи основні параметри повітря, серед яких освітленість, рівень шуму, температура, відносна вологість, атмосферний тиск, а також концентрації дрібнодисперсних частинок PM1, PM2.5 та PM4.

Результати ранкових вимірювань, які представлені на відповідному фрагменті інтерфейсу системи моніторингу, показали наступні значення параметрів. Рівень освітленості становив 194 lux, що свідчить про природне освітлення приміщення в ранковий час. Рівень шуму зафіксовано на рівні 47.9 dBA, що відповідає відносно спокійному середовищу без значного акустичного навантаження. Температура повітря становила 19.9 °C, що є комфортним значенням для житлового приміщення.

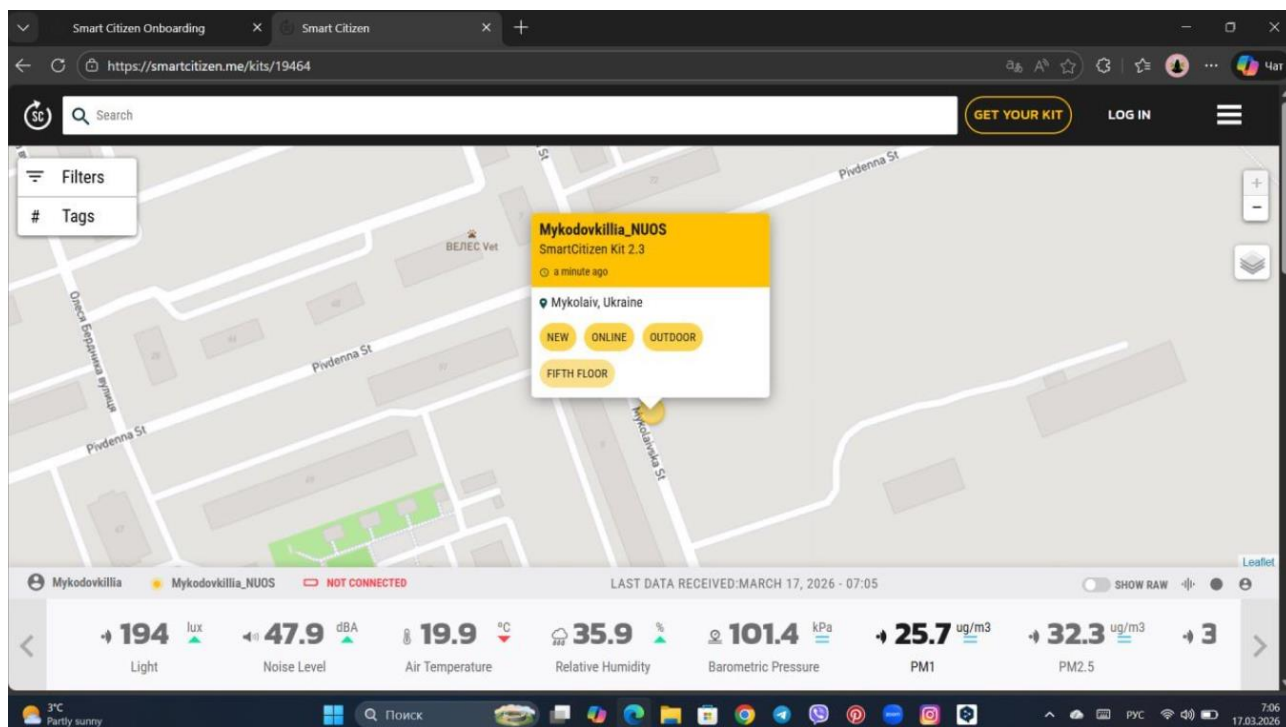


Рисунок 5.1 – Ранковий моніторинг

Вологість повітря у ранковий період становила 35.9 %, що можна охарактеризувати як дещо знижений рівень вологості, характерний для опалювального сезону або недостатньої вентиляції приміщення. Атмосферний тиск знаходився на рівні 101.4 kPa, що відповідає нормальним метеорологічним умовам.

Особливу увагу було приділено показникам концентрації дрібнодисперсних частинок. В ранковий період значення PM1 становило 25.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а PM2.5 – 32.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Такі значення свідчать про підвищений рівень дрібнодисперсного пилу у повітрі приміщення. Це може бути пов'язано з недостатньою вентиляцією, накопиченням пилу за ніч або зовнішніми факторами, такими як проникнення забрудненого повітря з вулиці.

У вечірній період було зафіксовано зміну параметрів повітря, що також відображено на відповідному фрагменті системи моніторингу. Рівень освітленості значно зменшився, що є логічним наслідком зниження природного освітлення. Рівень шуму становив 42.4 dBA, що трохи нижче порівняно з ранковим значенням, що може свідчити про зменшення активності у приміщенні.

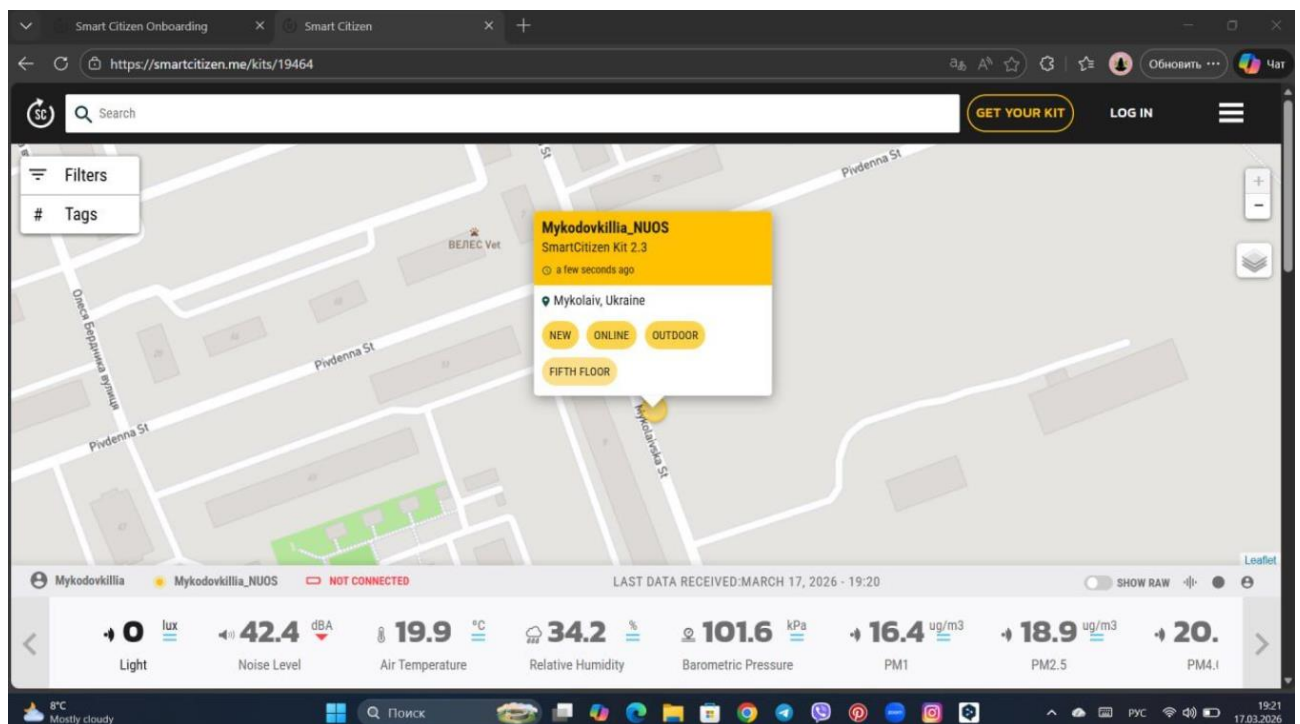


Рисунок 5.2 – Вечірній моніторинг

Температура повітря залишилася стабільною на рівні 19.9 °C, що свідчить про стабільну роботу системи опалення або кондиціонування. Вологість повітря у вечірній час знизилася до 34.2 %, що може бути результатом тривалого перебування у приміщенні без провітрювання.

Атмосферний тиск залишився практично незмінним і становив 101.6 kPa. Водночас, показники концентрації дрібнодисперсних частинок суттєво змінилися. Значення PM1 зменшилося до 16.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, а PM2.5 – до 18.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Це свідчить про покращення якості повітря у вечірній період порівняно з ранковими показниками.

Отримані результати можна пояснити декількома факторами. Зниження концентрації частинок може бути пов'язане з провітрюванням приміщення протягом дня, осіданням пилу чи зменшенням зовнішнього забруднення повітря. Також, важливу роль відіграє активність мешканців, оскільки рух у приміщенні може піднімати пил у повітря.

Таблиця 5.1 – Порівняльний аналіз параметрів якості повітря у домашніх умовах (ранок/вечір)

Параметр	Ранок	Вечір	Характер зміни
Освітленість, lux	194	значно менше	Зменшення природного освітлення
Рівень шуму, dBA	47.9	42.4	Незначне зниження
Температура, °C	19.9	19.9	Без змін
Вологість, %	35.9	34.2	Незначне зниження
Атмосферний тиск, kPa	101.4	101.6	Стабільний
PM1, µg/m³	25.7	16.4	Значне зменшення
PM2.5, µg/m³	32.3	18.9	Значне зменшення

Аналізуючи отримані результати вимірювань, можна більш детально встановити закономірності зміни якості повітря у межах одного житлового приміщення протягом доби. Зафіксоване суттєве зменшення концентрації дрібнодисперсних частинок у вечірній період порівняно з ранковими значеннями свідчить про динамічний характер мікроклімату та його залежність від умов експлуатації приміщення. На зміну показників безпосередньо впливають такі фактори, як провітрювання, відкривання вікон, переміщення людей у приміщенні, використання побутових приладів, а також проникнення зовнішнього повітря. Наприклад, підвищені ранкові значення концентрації частинок можуть бути пов'язані з накопиченням пилу в замкнутому просторі за ніч, тоді як протягом дня за рахунок циркуляції повітря та осідання частинок їх концентрація поступово зменшується.

Використання сенсорного комплексу Smart Citizen Kit у даному випадку дозволяє не просто фіксувати окремі значення параметрів, а забезпечує безперервний моніторинг із можливістю відстеження змін у реальному часі. Це дає змогу оперативно реагувати на погіршення якості повітря, наприклад, шляхом провітрювання приміщення, або усунення джерела забруднення.

Крім того, накопичення історичних даних дозволяє аналізувати тенденції змін параметрів повітря, що є важливим для більш глибокого розуміння процесів, які відбуваються у внутрішньому середовищі приміщення.

Отримані результати дослідження підтверджують практичну доцільність використання систем моніторингу якості повітря в побутових умовах. Такі системи дозволяють не лише оцінити поточний стан повітря, але й ідентифікувати фактори, що негативно впливають на його якість, зокрема недостатню вентиляцію, підвищену запиленість, або вплив зовнішнього середовища. Завдяки цьому користувач отримує можливість приймати обґрунтовані рішення щодо покращення умов проживання, наприклад, оптимізувати режим провітрювання, використовувати очищувачі повітря чи змінювати розташування джерел забруднення.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		82

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ОХОРОНА ПРАЦІ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Студент		Ніколаєва О.Ю.					83	
Викладач		Тимченко В.Л.						
Консультант						НУК		
Н. Контр.		Грешнов А.Ю.						
Зав. каф.								

ОХОРОНА ПРАЦІ

В процесі розроблення та експлуатації системи моніторингу якості атмосферного повітря особлива увага приділяється питанням охорони праці, оскільки робота з електронними пристроями, сенсорним обладнанням та інформаційними системами пов'язана з низкою потенційних небезпек. Забезпечення безпечних умов праці є необхідною умовою ефективного функціонування як окремого робочого місця, так і всієї системи в цілому.

Робоче місце оператора, або розробника системи моніторингу якості повітря зазвичай організоване у приміщенні, де використовуються комп'ютерна техніка, електронні модулі, датчики та периферійні пристрої. Основними небезпечними та шкідливими факторами в такому середовищі є електричний струм, електромагнітне випромінювання, недостатня чи надмірна освітленість, статичне навантаження на опорно-руховий апарат, а також вплив мікрокліматичних умов приміщення.

Одним із ключових факторів безпеки є електричний струм. При роботі з електронними компонентами системи, зокрема мікроконтролерами, сенсорними модулями та блоками живлення, існує ризик ураження електричним струмом в разі порушення ізоляції, або неправильного підключення обладнання. Для зниження цього ризику необхідно використовувати справні джерела живлення, дотримуватись правил монтажу електричних схем та застосовувати захисні пристрої, такі як стабілізатори напруги та запобіжники. Всі роботи з електронними компонентами повинні виконуватися при відключеному живленні, а корпуси пристроїв мають бути належним чином заземлені.

Іншим важливим аспектом є електромагнітне випромінювання, яке виникає при роботі електронних пристроїв. Хоча сучасні мікроконтролери та сенсорні системи мають відносно низький рівень випромінювання, тривале перебування в зоні дії електромагнітних полів може впливати на самопочуття людини. Тому, при організації робочого місця необхідно дотримуватись норм розміщення обладнання, забезпечувати достатню відстань між пристроями

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		84

та використовувати сертифіковану техніку.

Значний вплив на безпеку праці має освітлення робочого місця. Недостатній рівень освітленості призводить до підвищеного навантаження на зір, швидкої втоми та зниження продуктивності праці. Надмірне, або неправильно організоване освітлення, навпаки, може викликати відблиски на екранах та дискомфорт. Оптимальним є використання комбінованого освітлення, яке поєднує природне та штучне світло, з рівномірним розподілом освітленості без різких контрастів.

Особливу увагу слід приділити організації робочого місця при роботі за комп'ютером. Тривале перебування у статичному положенні може призводити до перевантаження м'язів спини, шиї та рук. Для запобігання цьому необхідно використовувати ергономічні меблі, правильно налаштовувати висоту столу та крісла, а також регулярно робити перерви для виконання фізичних вправ. Екран монітора повинен бути розташований на рівні очей чи трохи нижче, на відстані приблизно 50–70 см від користувача.

Мікроклімат приміщення також відіграє важливу роль у забезпеченні безпечних умов праці. Температура повітря, вологість та швидкість руху повітря повинні відповідати встановленим нормам. Надто висока температура може призводити до перегріву обладнання та погіршення самопочуття працівників, тоді як низька температура негативно впливає на працездатність. Оптимальна температура у робочому приміщенні повинна знаходитись у межах 20–24 °С, а відносна вологість – на рівні 40–60 %.

При використанні системи моніторингу якості повітря у польових умовах або на відкритому повітрі виникають додаткові ризики, пов'язані з впливом зовнішнього середовища. Це можуть бути атмосферні опади, перепади температур, вітер та пил. Для забезпечення безпечної роботи обладнання необхідно використовувати захищені корпуси, що запобігають потраплянню вологи та пилу всередину пристрою. Монтаж системи повинен виконуватись із урахуванням вимог безпеки, зокрема уникати встановлення обладнання у місцях з підвищеним ризиком механічних пошкоджень.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		85

Окремо слід розглянути питання пожежної безпеки. Електронні пристрої, що використовуються у системі моніторингу, можуть бути джерелом займання у разі короткого замикання або перегріву. Для запобігання пожежам необхідно використовувати якісні електронні компоненти, забезпечувати належну вентиляцію обладнання та уникати перевантаження електричних мереж. У приміщеннях повинні бути встановлені засоби пожежогасіння, а персонал має бути ознайомлений з правилами дій у разі виникнення пожежі.

Також, важливим аспектом є інформаційна безпека та психологічне навантаження. Робота з великими обсягами даних та постійний контроль показників може призводити до підвищеного рівня стресу. Для зниження психологічного навантаження необхідно оптимізувати інтерфейси системи, автоматизувати процеси обробки даних та забезпечити зручне відображення інформації.

Узагальнюючи, можна зазначити, що забезпечення охорони праці при роботі з системою моніторингу якості повітря потребує комплексного підходу, який включає технічні, організаційні та санітарно-гігієнічні заходи. Дотримання встановлених норм і правил дозволяє мінімізувати ризики, підвищити безпеку роботи та забезпечити ефективне функціонування системи в різних умовах експлуатації.

ВИСНОВКИ

В результаті дослідження було проведено комплексне дослідження систем моніторингу якості атмосферного повітря, розглянуто сучасні підходи до побудови таких систем, а також реалізовано практичне дослідження із застосуванням сенсорного комплекту Smart Citizen Kit. Отримані результати дозволяють сформулювати узагальнені висновки щодо ефективності, особливостей реалізації та практичної доцільності використання подібних систем.

У ході теоретичного аналізу було встановлено, що якість атмосферного повітря є одним із ключових факторів, що впливають на стан здоров'я людини та екологічну ситуацію загалом. Основними джерелами забруднення є транспорт, промисловість, побутова діяльність та природні фактори. Це обумовлює необхідність впровадження систем постійного контролю стану повітря, здатних забезпечити своєчасне виявлення змін екологічних параметрів.

Проведений огляд сучасних систем моніторингу показав, що на сьогодні існує широкий спектр рішень – від стаціонарних високоточних станцій до мобільних і портативних сенсорних пристроїв. При цьому сучасні тенденції спрямовані на розвиток компактних, доступних та енергоефективних систем, які можуть використовуватися як у міському середовищі, так і в побутових умовах. Разом із тим було виявлено низку недоліків існуючих систем, зокрема обмежену точність бюджетних сенсорів, залежність результатів вимірювань від зовнішніх факторів та необхідність регулярного калібрування.

В процесі виконання роботи було проведено порівняльний аналіз датчиків контролю якості повітря, на основі якого обрано сенсорний комплект Smart Citizen Kit як оптимальне рішення для реалізації системи моніторингу. Вибір обґрунтовано його функціональністю, можливістю вимірювання широкого спектра параметрів, відкритою архітектурою та зручністю інтеграції у інформаційні системи. Детально досліджено структуру пристрою, принцип роботи його основних модулів та особливості взаємодії компонентів.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		87

У рамках проєктування системи було розроблено архітектуру апаратного забезпечення, яка включає сенсорні модулі, мікроконтролер, блок живлення та засоби передачі даних. Проведений аналіз показав, що ефективність функціонування системи значною мірою залежить від правильної організації взаємодії між її компонентами, а також від якості обробки та передачі даних. Опис електричної схеми дозволив визначити особливості підключення основних елементів та забезпечити їх узгоджену роботу.

Особливу увагу у роботі було приділено метрологічним аспектам функціонування сенсорної системи. Визначено основні характеристики датчиків, такі як точність, чутливість, похибка, стабільність та відтворюваність результатів. Досліджено вплив зовнішніх факторів, зокрема температури, вологості та атмосферного тиску, на результати вимірювань. Встановлено, що для забезпечення достовірності даних необхідно враховувати ці фактори та застосовувати методи їх компенсації, включаючи програмну корекцію та оптимальне розміщення сенсорного пристрою.

Практична частина роботи підтвердила ефективність використання сенсорної системи для моніторингу якості повітря у реальних умовах. Проведене дослідження в домашньому середовищі показало, що параметри повітря змінюються протягом доби та залежать від умов експлуатації приміщення. Зокрема, було зафіксовано суттєве зниження концентрації дрібнодисперсних частинок у вечірній період порівняно з ранковими значеннями, що свідчить про вплив вентиляції, активності мешканців та зовнішніх факторів.

Отримані результати демонструють, що використання систем моніторингу дозволяє не лише фіксувати поточний стан повітря, але й аналізувати динаміку його змін, виявляти джерела забруднення та приймати обґрунтовані рішення щодо покращення мікроклімату. Це є особливо важливим у сучасних умовах, коли зростає рівень урбанізації та антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

В цілому, в роботі досягнуто поставленої мети – досліджено особливості побудови системи моніторингу якості повітря та підтверджено ефективність її практичного застосування.

Розроблені підходи та отримані результати можуть бути використані для подальшого вдосконалення систем екологічного контролю, розширення функціональних можливостей сенсорних мереж та підвищення рівня екологічної безпеки як в міському середовищі, так і в побутових умовах.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		89

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін. Моніторинг довкілля: підручник / за ред. В. М. Боголюбова і Т. А. Сафранова. Херсон : Олді-Плюс, 2020. 530 с.
2. Клименко М. О., Прищепа А. М., Вознюк Н. М. Моніторинг довкілля : підручник 2-ге вид., допов. і перероб. Рівне : НУВГП, 2023. 350 с.
3. Боголюбов В. М., Клименко М. О., Мокін В. Б. та ін. Моніторинг довкілля: підручник / за ред. проф. В. М. Боголюбова. 2-ге вид., переробл. і доповн. Київ: НУБіПУ, 2018. 435 с.
4. Боголюбов В. М., Сальнікова А. В., Ракоїд О. О. Екологічний моніторинг: навч. посіб. / за ред. проф. В. М. Боголюбова. Київ: НУБіПУ, 2023. 200 с.
5. Ванько В. М., Поліщук Є. С., Дорожовець М. М. та ін. Вимірювальні перетворювачі (сенсори): підручник / за ред. Є. С. Поліщука та В. М. Ванька; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2015. 584 с.
6. Величко О. М., Коломієць Л. В., Гордієнко Т. Б. Основи метрології та метрологічна діяльність: підручник / за заг. ред. д-ра техн. наук, проф. О. М. Величка; Одес. держ. акад. техн. регулювання та якості. Херсон: Олді+, 2021. 576 с.
7. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І. Р. Козбур та ін. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. 324 с.
8. Лавренова Д. Л., Хлистов В. М. Основи метрології та електричних вимірювань [Електронний ресурс]: навч. посіб. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 133 с.
9. Володарський Є. Т., Кухарчук В. В., Поджаренко В. О., Сердюк Г. Б. Метрологічні аспекти калібрування та верифікації цифрових датчиків : монографія. Харків : ХНАДУ, 2022. 156 с.
10. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Первинні вимірювальні перетворювачі фізичних величин: навч. посіб. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2018. 311 с.

					13. ДР. 152. 4631. 01. ПЗ	Арк
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		90