

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ**

**НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДЛЯ МОНИТОРИНГУ СТАНУ
ДОВКІЛЛЯ НА БАЗІ ІоТ-ТЕХНОЛОГІЙ»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело*

_____ Михайло РОМАН

Виконав:
здобувач вищої освіти
група ІСДМ-61

Михайло РОМАН

Керівник:
науковий ступінь,
вчене звання

Сергій СОЛОМАХА
к.е.н., доцент

Рецензент:
науковий ступінь,
вчене звання

Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Навчально-науковий інститут Інформаційних технологій

Кафедра Інформаційних систем та технологій

Ступінь вищої освіти магістр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедру ІСТ

Каміла СТОРЧАК

« ____ » _____ 20 ____ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Роману Михайлу Романовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система для моніторингу стану довкілля на базі IoT-технологій

керівник кваліфікаційної роботи Сергій СОЛОМАХА, к.е.н., доцент

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «30» жовтня 2025 р. № 467

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «26» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Технічна документація та характеристики IoT-сенсорів і пристроїв для моніторингу параметрів довкілля (шум, вібрації, температура, вологість).

2. Науково-технічна література з екологічного моніторингу, Інтернету речей та вбудованих систем.

3. Нормативні документи та стандарти щодо допустимих рівнів шумового і вібраційного забруднення.

4. Дані про програмні, хмарні та мережеві технології обробки й передавання екологічної інформації.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз сучасного стану екологічного моніторингу та проблем шумового і вібраційного забруднення.

2. Огляд і порівняльний аналіз існуючих IoT-систем моніторингу стану довкілля.

3. Розробка структурної схеми та апаратного забезпечення автоматизованої системи моніторингу.

4. Створення програмного забезпечення для збору, обробки та візуалізації екологічних даних.

5. Ілюстративний матеріал: *презентація*

6. Дата видачі завдання: «30» жовтня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	30.10-05.11.25	
2	Обґрунтування актуальності теми дипломної роботи	06.11-10.11.25	
3	Огляд сучасного стану екологічного моніторингу, аналіз шумового та вібраційного забруднення, а також оцінка ефективності існуючих автоматизованих і IoT-систем.	11.11-15.11.25	
4	Розробка апаратного забезпечення системи, включаючи вибір сенсорів шуму та вібрації, контролера, модулів зв'язку та аналіз структурного складу апаратної частини.	16.11-19.11.25	
5	Розробка програмного забезпечення пристрою для збору, попередньої обробки та передавання екологічних даних.	20.11-23.11.25	
6	Створення архітектури системи та інтерфейсу користувача для моніторингу й візуалізації даних у реальному часі.	24.11-06.12.25	
7	Написання основної частини кваліфікаційної роботи	06.12-10.12.25	
8	Написання вступу, висновків та реферату	11.12-18.12.25	
9	Розробка демонстраційних матеріалів	19.12-23.12.25	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Михайло РОМАН

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Сергій СОЛОМАХА

(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 70 стор., 6 табл., 24 рис., 33 джерела.

Метою роботи є створення та впровадження автоматизованої системи Інтернету речей, призначеної для моніторингу шумового забруднення та вібрацій навколишнього середовища, яка забезпечує безперервне збирання, обробку, збереження та візуальне зображення отриманих даних.

Об'єкт дослідження - це процеси контролю стану навколишнього середовища у міських умовах.

Предметом дослідження є методи, інструменти та програмно-апаратні рішення, призначені для створення автоматизованих систем IoT-моніторингу шумового забруднення та вібрації.

Короткий зміст роботи: У дипломній роботі розглянуто підходи до створення автоматизованої системи моніторингу стану довкілля на основі технологій Інтернету речей для контролю шумового та вібраційного забруднення в міському середовищі. Проаналізовано сучасний стан екологічного моніторингу та обґрунтовано доцільність використання IoT-рішень для безперервного збору й обробки даних у режимі реального часу. Здійснено вибір апаратної платформи та датчиків, розроблено програмне забезпечення пристрою й серверної частини системи, а також реалізовано засоби візуалізації результатів. Проведено тестування працездатності розробленої системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОНІТОРИНГ ДОВКІЛЛЯ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ (IoT), ШУМОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ, ВІБРАЦІЙНЕ ЗАБРУДНЕННЯ, ДАТЧИКИ, МІКРОКОНТРОЛЕР, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.

ABSTRACT

Text part of the qualification work for obtaining a master's degree: 70 pages, 6 table, 24 pictures, 33 sources.

The purpose of the work is to create and implement an automated Internet of Things system designed to monitor noise pollution and environmental vibrations, which ensures continuous collection, processing, storage and visual display of the obtained data.

The object of the study is the processes of monitoring the state of the environment in urban conditions.

The subject of the study is methods, tools and software and hardware solutions designed to create automated IoT systems for monitoring noise pollution and vibration.

Summary of the work: The thesis considers approaches to creating an automated environmental monitoring system based on Internet of Things technologies for monitoring noise and vibration pollution in the urban environment. The current state of environmental monitoring is analyzed and the feasibility of using IoT solutions for continuous data collection and processing in real time is substantiated. The hardware platform and sensors were selected, the software of the device and the server part of the system were developed, and the means of visualization of the results were implemented. The performance of the developed system was tested.

KEYWORDS: ENVIRONMENTAL MONITORING, INTERNET OF THINGS (IoT), NOISE POLLUTION, VIBRATION POLLUTION, SENSORS, MICROCONTROLLER, SOFTWARE.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ	12
1.1 Огляд існуючих методів моніторингу стану довкілля	12
1.2 Використання IoT-технологій у системах моніторингу довкілля	17
1.3 Аналіз наявних рішень для розумних міст (Smart City)	21
2 МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ IoT-СИСТЕМИ	25
2.1 Вибір параметру моніторингу стану довкілля	25
2.2 Огляд та вибір сенсорів для збору даних	33
2.3 Архітектура IoT-системи для моніторингу довкілля	48
3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ	55
3.1 Розробка програмного забезпечення для збору та обробки даних	55
3.2 Інтеграція з хмарними сервісами для зберігання даних	63
3.3 Реалізація візуалізації даних через веб-інтерфейс	69
ВИСНОВКИ	76
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	79
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)	82

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасних умовах швидкого росту міст та зростання навантаження, яке створює людина на навколишнє середовище, особливо важливо вирішувати питання контролю та аналізу рівня шуму та вібрацій. Ці явища дуже поширені в міських умовах і безпосередньо впливають на здоров'я людей, їхню зручність у житті, працездатність, а також на тривкість будівель та транспортних мереж. Постійне вплив великих шумів та вібрацій може призвести до проблем з сном, збільшенням стресу, серцево-судинних захворювань та інших негативних наслідків, тому важливо постійно та точно вимірювати ці показники.

Традиційні способи контролю навколишнього середовища зазвичай використовують періодичні вимірювання за допомогою нерухомих або рухомих пристроїв. Такі методи зазвичай вимагають багато грошей і часу, не забезпечують постійного отримання даних та мають обмежену можливість масштабування. З цього випливає, що застосування технологій Інтернету речей (IoT) є перспективним напрямком. Вони дозволяють створювати розподілені автоматизовані системи, які можуть збирати, передавати, зберігати та візуалізувати інформацію в режимі реального часу. Комбінування IoT-технологій з хмарними послугами та веб-інтерфейсами створює нові можливості для створення ефективних систем управління навколишнім середовищем, особливо в рамках концепції «Розумного міста».

Враховуючи це, розробка автоматизованої системи моніторингу навколишнього середовища на основі технологій Інтернету речей, з орієнтацією на вимірювання шумового забруднення та вібрацій, є важливим і практичним проектом. Ця система може використовуватися місцевими органами влади, екологічними службами, підприємствами та науковими установами для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на покращення стану навколишнього середовища та якості життя громадян.

Метою роботи є створення та впровадження автоматизованої системи Інтернету речей, призначеної для моніторингу шумового забруднення та вібрацій

навколишнього середовища, яка забезпечує безперервне збирання, обробку, збереження та візуальне зображення отриманих даних.

Для досягнення поставленої мети необхідно *виконати наступні завдання:*

- аналіз сучасного стану та використовуваних методів контролю навколишнього середовища;
- дослідження можливостей застосування технологій Інтернету речей у системах спостереження за середовищем;
- дослідження існуючих рішень у сфері розумного міста для контролю шумового забруднення та вібрацій;
- обґрунтування вибору параметрів контролю та відповідних датчиків для збору інформації;
- створення архітектури системи Інтернету речей для спостереження за середовищем;
- впровадження програмного забезпечення для збору та обробки даних з датчиків;
- забезпечення інтеграції системи з хмарними сервісами для зберігання отриманих даних;
- впровадження веб-інтерфейсу для візуалізації та аналізу отриманих результатів.

Об'єкт дослідження - це процеси контролю стану навколишнього середовища у міських умовах.

Предметом дослідження є методи, інструменти та програмно-апаратні рішення, призначені для створення автоматизованих систем IoT-моніторингу шумового забруднення та вібрації.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в створенні та документації архітектури автоматизованої системи моніторингу навколишнього середовища на основі технологій IoT, яка забезпечує інтеграцію датчиків, хмарних сервісів та веб-інтерфейсу для комплексного аналізу шумового забруднення та вібрації в режимі реального часу.

Апробація результатів магістерської роботи:

1. Роман М.Р «Огляд сучасних IoT технологій для моніторингу стану довкілля у містах: можливості та виклики». Тези доповіді на III всеукраїнська науково-технічна конференція «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу» – Київ, 18 листопада 2025 року.

2. Роман М.Р «Архітектура IoT-системи для моніторингу екологічних параметрів». Тези доповіді на VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення» – Житомир, 2-3 грудня 2025 року

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ

1.1 Огляд існуючих методів моніторингу стану довкілля

Основна мета моніторингу навколишнього середовища полягає в управлінні та мінімізації впливу діяльності на навколишнє середовище відповідно до законів і правил у цій сфері.

Оскільки збільшення населення створює тиск на промислову діяльність і споживання енергії, щоб не відставати від вищого попиту, прогрес у технологіях для точного моніторингу навколишнього середовища має вирішальне значення. Моніторинг передбачає аналіз середовища за допомогою інструментів для отримання точних результатів, які потім публікуються у звітах про оцінку ризиків і впливу. Хорошим прикладом цього є те, як підприємства відстежують вплив на навколишнє середовище з точки зору викидів вуглецю, виробництва відходів і методів переробки[2].

Програми моніторингу навколишнього середовища:

- Запаси води
- Поводження з небезпечними/радіоактивними відходами
- Розуміння джерел забруднення
- Охорона природних ресурсів
- Прогнозування погоди
- Економічний розвиток
- Захист видів, що знаходяться під загрозою зникнення
- Розуміння глобальних змін клімату

Моніторинг повітря/атмосфери

Забруднювачі повітря завдають шкоди навколишньому середовищу та здоров'ю людей. Відомо, що деякі забруднювачі повітря також погіршують стан інфраструктури, включаючи культурні будівлі, тому важливо контролювати якість повітря відповідно до національних (та міжнародних) правил якості повітря.

Рівень повітря/атмосфери можна контролювати за допомогою різноманітних датчиків:

- *Датчики температури*

Найчастіше використовуються датчики температури DS18B20, DHT11/DHT22 (вони також вимірюють вологу) та LM35. Вони призначені для контролю температури навколо, мають простий спосіб спілкування з мікроконтролерами та забезпечують достатню точність для як побутових, так і промислових приладів.

- *Датчики вологості*

Датчики DHT11, DHT22 (AM2302) та SHT21/SHT31 часто використовуються для вимірювання вологи повітря. Вони дають надійні показники температури та вологості, що допомагає відстежувати стан навколишнього середовища, управління будинками зумовленими технологіями та системами вентиляції.

- *Датчики вуглекислого газу*

Інфрачервоні датчики, наприклад, MH-Z19, MH-Z14 та SenseAir S8, використовуються для вимірювання вмісту вуглекислого газу. Вони мають високу точність та стабільність, а також застосовуються для аналізу повітряного середовища, як у приміщенні, так і на вулиці.

- *Датчики кисню*

Електрохімічні датчики, наприклад, KE-25, ZE03-O2 або кисневий датчик Grove, призначені для вимірювання кількості кисню. Вони використовуються в різних системах, таких як моніторинг навколишнього середовища, промислова безпека та медичне обладнання, бо забезпечують точне визначення концентрації кисню в повітрі.

У більш широкому масштабі, спостерігаючи за атмосферним повітрям, ми можемо побачити, як транспорт, промислові процеси, споживання енергії, сільськогосподарські відходи та загальне поводження з відходами впливають на здоров'я людини та навколишнє середовище. Збираючи безперервні дані, уряди та інші органи влади можуть вносити зміни в екологічну політику. Наприклад, якщо кількість забруднювачів повітря в певній місцевості збільшилася, стандарти

викидів і граничні значення можуть бути переглянуті для захисту навколишнього середовища [2].

Моніторинг ґрунтів

Моніторинг ґрунтів стає все більш важливим у 21 столітті. Зміна клімату, брак води та вразливі екосистеми призвели до необхідності моніторингу ґрунтового середовища та його захисту. Моніторинг ґрунту не лише допомагає керувати вологістю ґрунту та здоров'ям рослин, але ґрунт також пов'язаний з багатьма природними процесами та допомагає нам зрозуміти водні ресурси як на місцевому, так і на регіональному рівнях. Для відбору більшості проб ґрунту потрібні комбіновані зразки ґрунту, що передбачає фізичне змішування кернів ґрунту, однак екологічний моніторинг ґрунту також використовує різні методи:

- Дистанційне зондування для моніторингу солоності ґрунтів. Якщо солоність ґрунтів незбалансована, це може мати шкідливий вплив на якість води, урожайність рослин та інфраструктуру.

- Хімічні методи, такі як спектрометрія, використовуються для вимірювання забруднення ґрунтів. Токсичні властивості, такі як мікропластик, ядерні відходи та кислотні дощі, можуть спричинити токсичні зони в навколишньому середовищі, які можуть викликати захворювання, пов'язані із забрудненням, шкідливі для людей та інших тварин.

- Вимірювання рН: оскільки багато факторів, таких як забруднення, клімат і доквілля, можуть впливати на рН ґрунту, вимірювання рН ґрунту також допомагає нам зрозуміти ґрунтове середовище [2].

Моніторинг води

Вода має важливе значення для всього життя на землі, тому слід контролювати всі водойми, щоб переконатися, що вони чисті, придатні для пиття, безпечні та відповідають санітарним нормам. Забруднення води є серйозною проблемою, тому моніторинг води є таким важливим. Відстежуючи якість води, ми можемо дивитися на поточні, поточні та майбутні проблеми у системах водопостачання.

Якість води можна контролювати за допомогою різних датчиків:

- *Датчики розчиненого кисню*

Електрохімічні та оптичні датчики, наприклад, гравітаційний аналоговий датчик розчиненого кисню DFRobot, датчик розчиненого кисню Atlas Scientific та датчик ProODO YSI, часто використовуються для вимірювання кількості розчиненого кисню в воді. Вони застосовуються для контролю стану природних водойм, аквакультур та установ для очищення води, бо дозволяють швидко визначити рівень аерації води.

- *Датчики каламутності*

Для вимірювання каламутності води застосовуються оптичні датчики, наприклад, датчик каламутності SEN0189, датчик каламутності DFRobot або промисловий датчик Hach 2100Q. Ці пристрої дозволяють визначити кількість зважених частинок у воді та використовуються для контролю якості питної води та стану поверхневих водойм.

- *Датчики рН*

До популярних датчиків рН належать датчик рН від Atlas Scientific, датчик рН Gravity від DFRobot та датчик рН від Hanna Instruments. Ці пристрої забезпечують точні показники рН та використовуються для контролю навколишнього середовища, лабораторних робіт та систем обробки води.

- *Датчики температури*

Для вимірювання температури води часто застосовуються герметичні цифрові датчики DS18B20, які є водонепроникними, а також платинові термометри опору PT100 та PT1000. Вони відмінно характеризуються точністю та стабільністю показань, і використовуються в складних системах контролю водойм.

Крім того, якість води перевіряється в лабораторіях на нітрати, біоіндикатори та хімічне забруднення.

Вимірювання електропровідності у воді також має велике значення, оскільки якість води можна опосередковано виміряти через електропровідність за допомогою датчика електропровідності. Провідність визначає, скільки забруднюючих речовин міститься у воді та має здатність передавати електрику [2].

Моніторинг відходів

Погане управління відходами сприяє зміні клімату та забрудненню повітря, безпосередньо впливаючи на навколишнє середовище та піддаючи людину впливу шкідливих речовин, створюючи тиск на системи здоров'я людей. Моніторинг відходів розглядає виробництво та споживання. Наприклад, якщо країна виробляє менше відходів, це може означати, що вона виробляє менше матеріалів. Однак багато країн експортують відходи (відомі як глобальна торгівля відходами) в інші країни, де вони іноді не мають обладнання для поводження з відходами [2].

Від того, який тип поводження з відходами є найкращим для навколишнього середовища, залежить. Є п'ять етапів, упорядкованих від найменш шкідливого до найбільш шкідливого для навколишнього середовища:

1. Профілактика
2. Повторне використання
3. Переробити
4. Відновлення
5. Утилізація

Моніторинг шуму

Одним із видів екологічного моніторингу, про який часто забувають, є шумове забруднення. Шумове забруднення впливає як на тварин на суші, так і в морі. Морські китоподібні, такі як кити та дельфіни, використовують шум як засіб орієнтації та спілкування. Тому, якщо шуму занадто багато, вони не можуть спілкуватися з іншими, що наражає їх на небезпеку. Моніторинг шуму не тільки захищає морське життя, але й на суші відіграє важливу роль у захисті громад, які проживають поблизу промислових об'єктів, таких як аеропорти. Шумове забруднення можна контролювати на суші та в морі за допомогою шумоміра (SLM). Також часто використовуються інтегровані шумоміри (ISLM) і дозиметри шуму. Ці датчики моніторингу підключені до програмного забезпечення для контролю рівня живого шуму. Перед моніторингом шуму Агентство охорони навколишнього середовища США (EPA) і Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) встановлюють порогові значення рівня шуму, щоб визначити, який рівень шуму

можна створювати в певній місцевості. Моніторинг дозволяє цим організаціям за потреби коригувати порогові значення рівня шуму [2]. Ці заходи підтримують збереження природних ресурсів, захист видів, що знаходяться під загрозою, та адаптацію до кліматичних змін. Моніторинг сприяє формуванню ефективних екологічних політик, підвищує обізнаність суспільства та допомагає покращити якість життя людей.

1.2 Використання IoT-технологій у системах моніторингу довкілля

Впроваджуючи автоматизовані датчики, IoT дозволяє збирати дані в реальному часі, забезпечуючи безперервний потік точної та надійної інформації. Віддалений доступ дозволяє зацікавленим сторонам отримувати доступ до інформації в реальному часі з будь-якого місця, сприяючи більш динамічному та чуйному підходу до управління навколишнім середовищем. Крім того, алгоритми прогнозування аналітики та машинного навчання, застосовані до даних IoT, дозволяють ідентифікувати закономірності та тенденції, сприяючи проактивному ухваленню рішень і прогнозуванню потенційних екологічних проблем. Поєднання цих ключових переваг допомагає нам розробляти інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища, які не тільки задовольняють строгі вимоги галузі, але й підтримують процеси прийняття рішень, забезпечують прогнози та створюють інтелектуальну інформацію та системи сигналізації.

Підводячи підсумок, IoT кардинально змінює традиційні процеси оцінки, революціонізувавши екологічний моніторинг у розумний екологічний моніторинг (SEM). Окрім технічних переваг, SEM узгоджується з цілями сталого розвитку, зменшуючи вплив на навколишнє середовище завдяки оптимізованому використанню ресурсів і мінімізуючи потребу у фізичних поїздках до місць моніторингу.

Один із прикладів можливостей Інтернету речей у моніторингу навколишнього середовища стався у Швейцарії, де датчики Decentlab

(рис 1.1) були інтегровані для забезпечення точних вимірювань рівня води та проактивного виявлення аномалій [3].

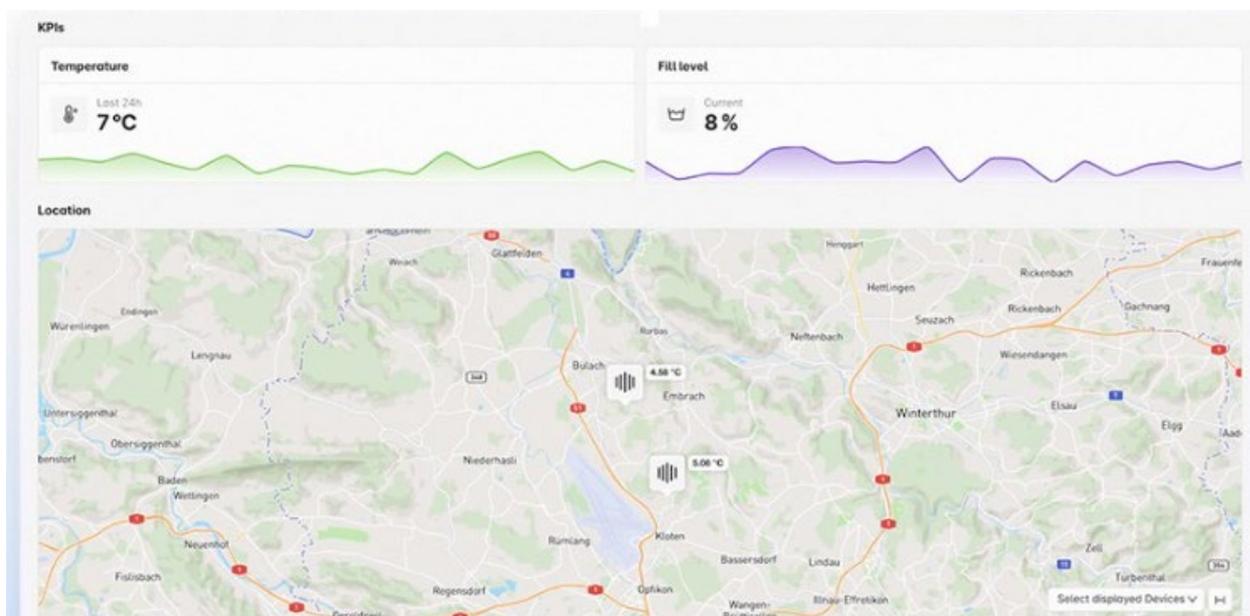


Рис. 1.1 Інтерфейс IoT-системи моніторингу [3]

Розроблена спільно з платформою Akenza мережа IoT запускає автоматичні сповіщення, коли рівень води падає, запобігаючи потенційному пошкодженню насоса. Дані в режимі реального часу дозволяють оптимально використовувати ресурси, надаючи цінну інформацію для вирішення проблеми дефіциту води, спричиненого зміною структури льодовиків і снігу.

В іншому сценарії, у Зальцбурзі (Австрія), увага зосереджена на запобіганні лісовим пожежам за допомогою оцінки ризику на основі даних. Ми використали комбінацію передових технологій від датчиків Decentlab, технології LoRaWAN, шлюзів RAK і платформи візуалізації Datasake, щоб надавати в режимі реального часу вичерпні дані про навколишнє середовище власникам лісів, лісовим менеджерам і особам, які приймають рішення щодо реагування на надзвичайні ситуації (рис. 1.2).



Рис.1.2 Система збору екологічних даних у природному середовищі [3]

Цей підхід передбачає встановлення метеостанцій, оснащених датчиками Decentlab, у різних місцях для збору метеорологічних даних, включаючи температуру, вологість, опади, швидкість вітру та грозову активність. Використовуючи ці дані та використовуючи міжнародно визнаний алгоритм, зацікавлені сторони можуть розрахувати індекс лісової пожежі, також відомий як код вологості дрібнодисперсного палива (FFMC), який вказує на займистість ґрунтової підстилки та іншого твердого дрібнодисперсного палива на лісовій підстилці. Використовуючи цей надійний і точний підхід для розрахунку ризику лісових пожеж у режимі реального часу, оцінка ризику досягає безпрецедентного ступеня точності, що дозволяє ефективно контролювати та оцінювати потенційну небезпеку (рис. 1.3).

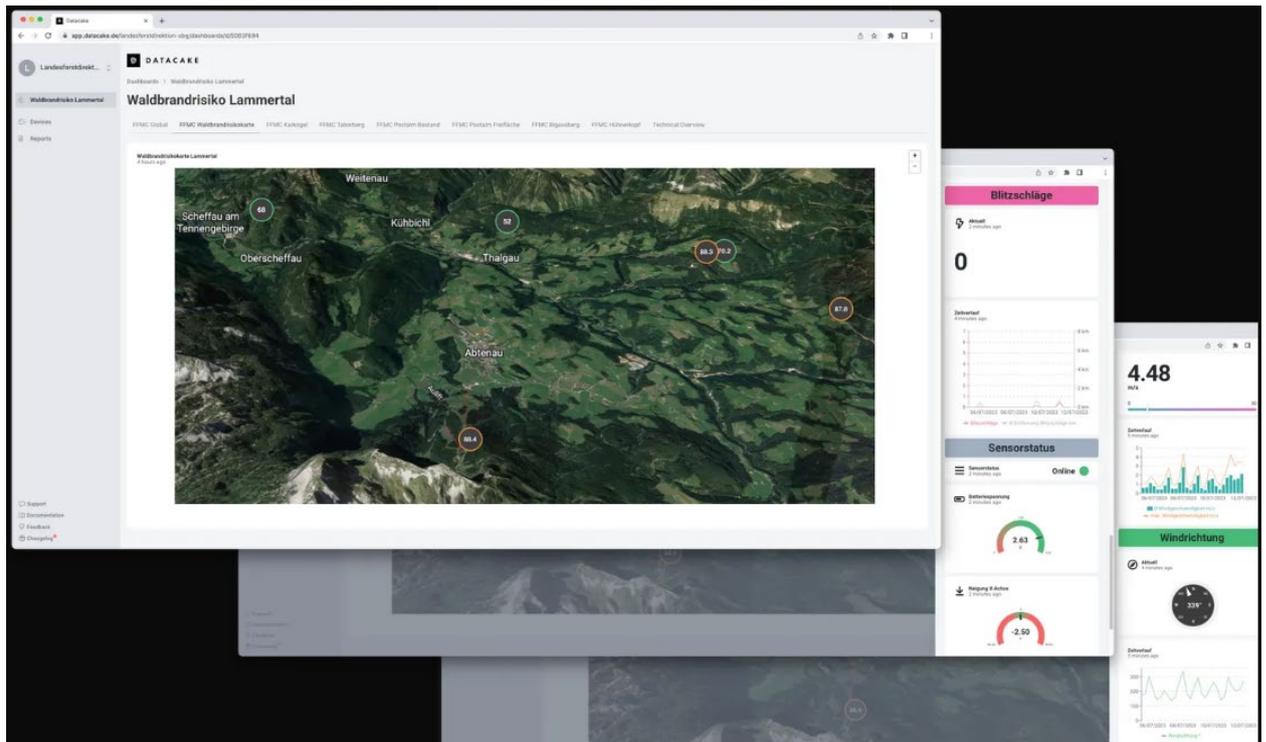


Рис.1.3 Інтерфейс системи спостереження за станом довкілля [3]

Застосування моніторингу навколишнього середовища є широкими та різноманітними, починаючи від цілорічної діяльності до сезонної.

Перша категорія передбачає постійний нагляд за такими природними територіями, як ліси та водно-болотні угіддя, щоб підтримувати оптимальні умови для процвітання біорізноманіття. Це передбачає моніторинг кліматичних умов, якості ґрунту, повітря та води, а також відстеження гніздування або міграційних переміщень.

Друга категорія охоплює рішення для запобігання таким небезпекам, як лісові пожежі, ожеледь на дорогах, екстремальні погодні явища та їх наслідки (наприклад, повені). Хоча ці випадки використання можуть здаватися непов'язаними, їх можна використовувати в доповнюючий спосіб і отримувати переваги від тієї самої базової інфраструктури. Моніторинг навколишнього середовища також сприяє здоровішому середовищу в міських районах і може використовуватися для інформування громадян про проблеми клімату та

навколишнього середовища. Система моніторингу також необхідна для міського планування, моніторингу викидів або дотримання вимог законодавства [4].

1.3 Аналіз наявних рішень для розумних міст (Smart City)

У розумних містах, орієнтованих на людину, принципи дизайну зосереджені на інклюзивності, стійкості та стійкості. Ці принципи гарантують, що міські послуги та переваги доступні для всіх, включаючи маргіналізовані групи, і що міське середовище є стійким і здатним протистояти різноманітним екологічним і соціальним стресам .

Технології, які є основоположними для розвитку розумних міст, включають Інтернет речей (IoT), який включає пристрої та датчики, з'єднані між собою по всьому місту для покращення збору та керування даними. Big Data Analytics використовується для аналізу великих наборів даних для покращення прийняття рішень і міського планування, тоді як штучний інтелект (AI) керує та оптимізує міські служби, такі як контроль дорожнього руху та управління відходами.

Ключові компоненти розумних міст, орієнтованих на людину, можна згрупувати наступним чином:

1. Технологічна інтеграція. Невід'ємною частиною розумних міст, орієнтованих на людину, є бездоганна інтеграція пристроїв Інтернету речей, які збирають і аналізують дані для покращення міських послуг. Наприклад, інтелектуальні датчики можуть контролювати якість повітря та умови дорожнього руху, покращуючи здоров'я мешканців і скорочуючи час на дорогу.

2. Залучення громадян: залучення громадян до планування та впровадження розумних ініціатив має вирішальне значення. Використовуючи платформи для залучення громадян, міста можуть гарантувати, що розроблені послуги відповідають потребам і вподобанням їхніх жителів.

3. Стійкість: стійкі практики є основою розумних міст, орієнтованих на людину. Технології використовуються для оптимізації використання ресурсів і

зменшення впливу на навколишнє середовище, таким чином підтримуючи цілі сталого розвитку міст.

Концепція розумного міста, де людина стоїть на першому місці, ґрунтується на використанні сучасних технологій, щоб покращити життя його громадян. Такий підхід ґрунтується на принципах включення, соціальної рівності та екологічного розвитку, забезпечує доступ до міських послуг усім людям, незалежно від їх віку, доходу, соціального стану або фізичних можливостей. Основна мета людиноцентричної концепції полягає в створенні умов, за яких кожен мешканець має однаковий доступ до цифрових послуг і можливостей, які виникають під час цифрової трансформації міста. Здійснення цієї моделі вимагає створення простих та зручних інтерфейсів, впровадження освітніх програм для розвитку цифрової грамотності, а також розробки державної та міської політики, спрямованої на зменшення цифрової нерівності [3].

Одним із прикладів реалізації ідеї, що розглядає людину в центрі уваги, є Цюрих - відомий світовий центр з фінансів та банківської справи. У 2023 році місто зайняло перше місце серед розумних міст. Цюрих застосовує повну стратегію сталого розвитку, яка поєднує модернізацію міської інфраструктури з увагою до природи. Однією з основних цілей є значне зменшення викидів парникових газів до 2050 року. За даними статистики, у 2019 році рівень викидів вуглецю у Цюриху знизився на 36% порівняно з 1990 роком. Місто розвиває зелену архітектуру та зони для відпочинку: більше половини площі міста покрито парками, скверами та зеленими зонами. У місті працює ефективна система управління відходами, спрямована на зменшення сміття та підвищення його переробки. У майбутньому планується впровадити розумну систему управління відходами, яка буде використовувати датчики та цифрові ідентифікатори для збору та аналізу даних, щоб оптимізувати логістику та переробку. Подібні технології розглядаються для керування споживанням води. У Цюриху вже працює система розумного паркування, яка в режимі реального часу дає водіям інформацію про доступні місця, що допомагає зменшити затори на дорогах. Громадяни Цюриха мають доступ до відкритого інформаційного порталу з актуальними даними про стан

навколишнього середовища, зокрема про якість повітря та рівень шумового забруднення [3].

Канберра - столиця Австралії та третє найбільше населене місто країни - зайняла третє місце у світовому індексі розумних міст у 2023 році. Однією з великих інновацій стало запуск платформи Digital Twin, яка є частиною мережі Інтернету речей. Ця система дозволяє багатовимірно відстежувати роботу міста в режимі реального часу. Платформа збирає та аналізує дані про рух транспорту, використання енергії, управління водою та інші важливі аспекти функціонування міста. Міська влада запустила програму «Стратегія транспорту з нульовими викидами», яка сприяє використанню чистого транспорту. На початку березня 2023 року електромобілі склали близько 19% від усіх зареєстрованих транспортних засобів. У громадському транспорті впровадили розумну систему електронної оплати за проїзд. Також модернізували систему вуличного освітлення, установивши близько 50 000 світлодіодних ламп, що знизило витрати енергії майже на 47%. Для контролю роботи системи освітлення використовується система моніторингу в режимі реального часу. Іншими ініціативами стали розгортання безкоштовної мережі Wi-Fi та інтегрована система розумного паркування [3].

Сінгапур є яскравим прикладом швидкої міської та технологічної трансформації, яка перетворила регіон з обмеженими ресурсами на один з найтехнологічніших мегаполісів світу. У місті-державі переважна більшість адміністративних та соціальних послуг надається в електронному вигляді, що значно спрощує взаємодію громадян з державними службами. Висока щільність населення зумовила необхідність впровадження ефективних механізмів управління транспортною інфраструктурою. Для цього створено автономний парк транспортних засобів, орієнтований на забезпечення мобільності людей похилого віку та людей з інвалідністю. Також працює електронна система управління дорожнім рухом, яка аналізує транспортну ситуацію в режимі реального часу та дозволяє гнучко регулювати тарифи та зменшувати затори. Значна увага приділяється управлінню відходами: в рамках Національної програми переробки мешканців заохочують розділяти та компостувати органічні відходи. У Сінгапурі

немає традиційних сміттєзвалищ для твердих побутових відходів – натомість існують компанії з переробки відходів на енергію. Наприклад, сміттєспалювальний завод Tuas виробляє достатньо електроенергії для живлення понад 60 000 домогосподарств, зменшуючи кількість відходів приблизно на 90%. Варто відзначити високий рівень громадської безпеки, досягнутий завдяки передовій системі відеоспостереження з понад 100 000 камер та використанню технології розпізнавання облич [3].

Столиця Норвегії, Осло, постійно входить до числа найкращих міст у світі за розвитком інфраструктури розумного міста, і в 2023 році місто зайняло друге місце в рейтингу. У місті високий рівень освіти, енергію використовують ефективно, а зелені насадження дуже багато. З 1990 року викиди вуглецю в Осло знизилися більш ніж на 60%, а відповідно до стратегії міста, до 2030 року воно має досягнути повної вуглецевої нейтральності. Місто підтримує використання електротранспорту, надаючи податкові знижки, безплатне паркування, розвинену мережу зарядних станцій та дозвіл на використання електромобілів у громадському транспорті. У будівництві широко застосовують технології Інтернету речей, зокрема сенсори та мікрочипи, які дозволяють керувати системами освітлення, опалення та кондиціонування повітря, що збільшує енергоефективність будівель.

Розумне міське планування важливе для створення комфорту громадян. Це не лише про правильну розбудову інфраструктури, створення без бар'єрних просторів, а й охоплює набагато більше аспектів: озеленення, безпека тощо.

2. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ СТВОРЕННЯ ІoT-СИСТЕМИ

2.1 Вибір параметрів моніторингу стану довкілля: шум та вібрації

Сучасні міські екосистеми мають високий рівень впливу людей, що вимагає постійного вивчення стану навколишнього середовища для забезпечення безпечних умов для життя та нормальної роботи інфраструктури. Постійне зростання транспорту, будівництва, промислових об'єктів та зон відпочинку призводить до збільшення шуму та вібрацій, які є одними з найпоширеніших негативних факторів для здоров'я людей та зносу будівель. Тому підбір показників для вивчення середовища має бути обґрунтованим, відповідати сучасним потребам суспільства та техніки, а також відповідати діючим документам.

Вибір шуму та вібрації як основних показників для системи контролю навколишнього середовища базується на взаємодії різних факторів, зокрема наукових, технологічних, соціальних та законодавчих. У сучасних містах ці дві форми природних впливів дуже поширені: вони відчуються практично у кожному районі – від центральних вулиць до віддалених житлових масивів. Висока частота та сила появи цих явищ обумовлені особливостями міського простору, великим числом мешканців, розвиненою транспортною мережею та постійними будівництвами. Шум та вібрація є звичайними забруднювачами, але їхній характер ускладнює оцінку за допомогою зору або інтуїтивну оцінку, тому вимірювати їх можна лише за допомогою спеціалізованих систем, які забезпечують точні та об'єктивні дані про стан навколишнього середовища. Особливу увагу до цих параметрів зумовлено тим, що рівні шуму в більшості країн світу чітко регламентуються міжнародними та національними стандартами. Серед них особливу роль відіграють рекомендації Всесвітньої організації охорони здоров'я, європейські рекомендації щодо моніторингу шуму навколишнього середовища, а також українські стандарти - зокрема, ДСТУ, які встановлюють методи вимірювання, допустимі рівні та правила оцінки шуму та вібрації. Наявність узгодженої нормативної бази не лише спрощує розробку систем вимірювання, але

й дозволяє інтегрувати отримані дані в просторово-міські та санітарні моделі, використовувати їх для контролю за дотриманням стандартів та формування екологічної політики [6].

Не менш важливим фактором вибору саме цих параметрів є те, що засоби для їх точного вимірювання є технологічно доступними. У останні роки ціна високочутливих мікрофонів та акселерометрів значно знизилася, а розвиток алгоритмів цифрової обробки сигналів дозволив забезпечити високоточний аналіз у режимі реального часу. Це створило можливості для створення масштабованих систем IoT, які здатні працювати автономно, передавати великі обсяги даних, виконувати локальний попередній аналіз та використовувати складні методи спектральної обробки, у тому числі перетворення Фур'є та аналіз амплітудно-частотних характеристик. Отже, сучасні рівні апаратного та програмного забезпечення роблять моніторинг шуму та вібрації не тільки можливим, але й економічно доцільним.

Ще одним важливим чинником є збільшення транспортного і будівельного навантаження в містах. Зростання кількості автомобілів, інтенсифікація роботи громадського транспорту, збільшення кількості важких вантажних автомобілів, активне будівництво, використання метро, трамваїв та промислового обладнання створює складний і незмінний акустичний та вібраційний фон. Без постійного контролю неможливо зрозуміти, наскільки ці фактори впливають на довкілля, придумати ефективні способи захисту від шуму, знайти найбільш проблемні місця або передбачити зміни в структурі міста [6].

Однак найпереконливішим аргументом у підтримку моніторингу є вплив шуму та вібрації на здоров'я людей та стан інженерної інфраструктури. Негативний вплив цих факторів має накопичувальний характер: з часом він посилюється і може призвести до серйозних порушень фізіологічних процесів у людини - наприклад, зростання рівня стресу, порушення сну, погіршення когнітивних функцій та, у довгостроковій перспективі, підвищення ризику серцево-судинних захворювань. Вібрації, в свою чергу, впливають не тільки на людей, а й на стан будівель та інженерних споруд: вони можуть викликати з'явлення мікротріщин, прискорити

знос конструкцій та скоротити їх робочий строк. Моніторинг дозволяє виявити точки, де навантаження сягають критичних значень, а також прийняти профілактичні заходи для зменшення ризиків.

У розробленій системі моніторингу Інтернету речей важливим елементом є визначення фізичних параметрів, які будуть вимірюватися постійно та аналізуватися. Оскільки система призначена для контролю шуму та вібрацій, ключовими показниками є параметри акустичних сигналів та механічних коливань. Ці показники дозволяють оцінити стан навколишнього середовища та виявити можливі загрози для здоров'я людей та інфраструктури [6].

Параметри шуму описують багато властивостей, які показують, наскільки яскравий та який тип звукового впливу виникає. Основним показником є рівень звукового тиску, який вимірюється в децибелах. Цей показник дозволяє дослідити, скільки енергії має звук, і як він впливає на людей та оточуюче середовище. Проте більш точним є А-зважений рівень, який позначається як дБА. Він враховує, як людський слух реагує на різні частоти, і показує, який шум найбільше впливає на самопочуття та комфорт людини. Одним із важливих моментів при аналізі шуму є вивчення частотного спектру за допомогою швидкого перетворення Фур'є. Такий аналіз допомагає з'ясувати, які частоти домінують у звуковому сигналі, і відображає властивості різних джерел шуму: низькочастотні коливання зустрічаються у громадському транспорті та важкому вантажному забезпеченні, тоді як високочастотні - у вентиляційних системах, електроінструментах та будівельній техніці [7].

Важливу роль також грає розрахунок еквівалентного рівня шуму L_{eq} , який показує середню енергію шуму протягом певного часу. Цей показник є основним у нормах ВООЗ, і використовується для оцінки загального впливу шуму на людину протягом довгого періоду. До аналізу також входять найбільші значення, які відображають різкі, короткотривалі події, та вимірюються тривалість і частота повторення шумових імпульсів. Це допомагає встановити, яким є характер навантаження – постійним, імпульсним, періодичним або хаотичним [8].

Другим важливим блоком параметрів є вібраційні характеристики, які мають як санітарно-гігієнічне, так і конструкційне значення. Вимірювання амплітуди вібрацій у m/s^2 або g дозволяє точно визначити силу механічного впливу, який діє на будівлю або організм людини. Важливою є й середньоквадратична величина (RMS), яка показує загальне навантаження протягом довгого періоду часу та є одним із основних параметрів, що враховуються в стандартах ISO при оцінці впливу вібрації на людину. Максимальна амплітуда, з боку свою, дозволяє виявити короточасні небезпечні вібрації, які можуть залишатися непомітними при середніх значеннях, але представляють загрозу для механічних систем [8].

Частота коливань, як і шум, є одним із основних параметрів, які впливають на визначення джерел вібрації. Використання швидкого перетворення Фур'є (FFT) для аналізу спектру вібрацій дозволяє виявити резонансні піки, які можуть вказувати на рух транспортних засобів, роботу промислового обладнання або деформації будівель. Такий аналіз також допомагає оцінити, чи можуть виявлені частоти збігатися з конструкціями будинків, що може призвести до появи мікротріщин або прискореного зношення [9].

Важливо враховувати напрямки коливань у координатах X, Y та Z. Вертикальні та горизонтальні складові впливу мають різку природу і передаються через конструкції та ґрунт по-різному. Для точного визначення навантажень на будівельні конструкції необхідно вимірювати всі три складові одночасно, оскільки поєднання коливань на різних рівнях може створювати складні напружені стани, які неможливо виявити, вимірюючи лише одну вісь. Таким чином, вибір параметрів, які буде вимірювати система Інтернету речей, дає повну картину характеру, інтенсивності та джерел впливу шуму та вібрації. Інтегрований підхід, що враховує амплітудні, частотні, часові та просторові характеристики, є основою для створення ефективної системи моніторингу навколишнього середовища, здатної виконувати діагностичні, попереджувальні та аналітичні функції в міському середовищі.

У системах акустичного та вібраційного моніторингу особливу роль відіграють стандартизовані вимірювання, які дозволяють порівнювати отримані дані, будувати статистичні моделі впливу та відповідати міжнародним стандартам.

Вибір вірних методів вимірювань дозволяє не тільки виявити наявність шуму чи вібрацій, а й здійснити глибокий аналіз їхнього джерела, природи та можливого впливу на оточуюче середовище та здоров'я людини. Тому вимірювальні методи в системі Інтернету речей базуються на чотирьох основних параметрах: децибелях, середньоквадратичних значеннях, пікових значеннях та частотному аналізі, який виконується за допомогою швидкого перетворення Фур'є [10].

Однією з основних величин, що використовуються для оцінки шуму, є децибел. Це логарифмічна одиниця, яка дозволяє зручною шкалою зобразити великий діапазон звукового тиску, який характерний для міста. Особливу роль має параметр дБА, тобто рівень звуку, який враховує різну чутливість людського слуху до різних частот. Цей показник застосовується в багатьох екологічних стандартах, включаючи рекомендації ВООЗ та норми ЄС, оскільки він найкращим чином передає, як людина сприймає шум. Тому дБА є важливим показником для оцінки якості акустичного середовища, а також дозволяє правильно зрозуміти, наскільки шум може бути неприємним або навіть шкідливим для здоров'я. У разі як шуму, так і вібрацій, RMS (середньоквадратичне значення) є дуже важливим параметром. Цей показник описує дійсну енергетичну потужність коливань і дозволяє перейти від миттєвих змін до середніх, стабільних вимірювань. RMS звукового тиску використовується для оцінки тривалого акустичного впливу, а RMS прискорення - для визначення реального механічного впливу на будівлі, елементи інфраструктури та обладнання. Вигідністю RMS є те, що воно не тільки приглухає випадкові піки, а й забезпечує показник, який відповідає дійсній енергії, що поглинається людським тілом або спорудою [11].

Однак у багатьох випадках особливу увагу звертають не середні показники, а пікові параметри, зокрема пік та інтервал між піками. Такі вимірювання дуже важливі при визначенні імпульсних подій: раптових зіткнень, запуску важкої техніки, вибухів, металургійних процесів, падіння вантажів або різкого зміни потоку руху. Пікові значення допомагають виявити події, які мають невеликий тривалість, але можуть викликати небезпеку. Наприклад, навіть якщо загальний

рівень вібрації невеликий, окремі імпульси можуть призвести до мінімальних пошкоджень будівель або викликати незручність у мешканців.

Тож основним елементом глибокого аналізу як шуму, так і вібрації є частотний аналіз, який здійснюється за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ). Цей метод дозволяє показати складний сигнал, який існує у часі, у вигляді частотного спектру, що дає змогу зрозуміти його будову. ШПФ є незамінним інструментом, коли потрібно визначити походження шуму або вібрації, розрізнити транспортні, будівельні, механічні, електричні або аеродинамічні складові. Частотні «ознаки» сигналів є своєрідними маркерами джерела: низькі частоти зазвичай пов'язані з рухом важкого транспорту або вентиляторів, середні частоти - з роботою двигунів та генераторів, а високі частоти - з інструментами, які працюють на високих швидкостях, або з механічними несправностями обладнання. ШПФ також відіграє важливу роль у технічній діагностиці, дозволяючи виявляти налаштовані та гармонійні складові, які вказують на знос підшипників, дисбаланс ротора або інші недоліки механізмів [12].

Ці вимірювання разом дають повну картину акустичного та вібраційного стану міського середовища. Логарифмічні індекси визначають силу впливу, RMS показує тривалість та енергетичну важливість, пікові значення - небезпечні імпульси, а FFT допомагає визначити структуру та джерела шуму. Комбінування цих методів дозволяє створити сучасну систему моніторингу в рамках Інтернету речей, яка відповідає науковим, технічним та нормативним вимогам, а також забезпечує точну, масштабовану і аналітично повну оцінку шумового та вібраційного забруднення в режимі реального часу.

Діаграма розсіювання та квадратична регресія зв'язку між залізничним шумом (L_{den}) та дратівливістю (%HA) зображена на рис. 2.1.

Міські території - це складні системи, утворені через людську діяльність, де взаємодіють транспорт, будівництво, інженерні мережі та багато джерел шуму і вібрацій. У цьому контексті шум і вібрації є дуже поширеними, але досі незадовольненими факторами, які впливають на здоров'я людей, технічний стан будівель та загальний комфорт міста [13].

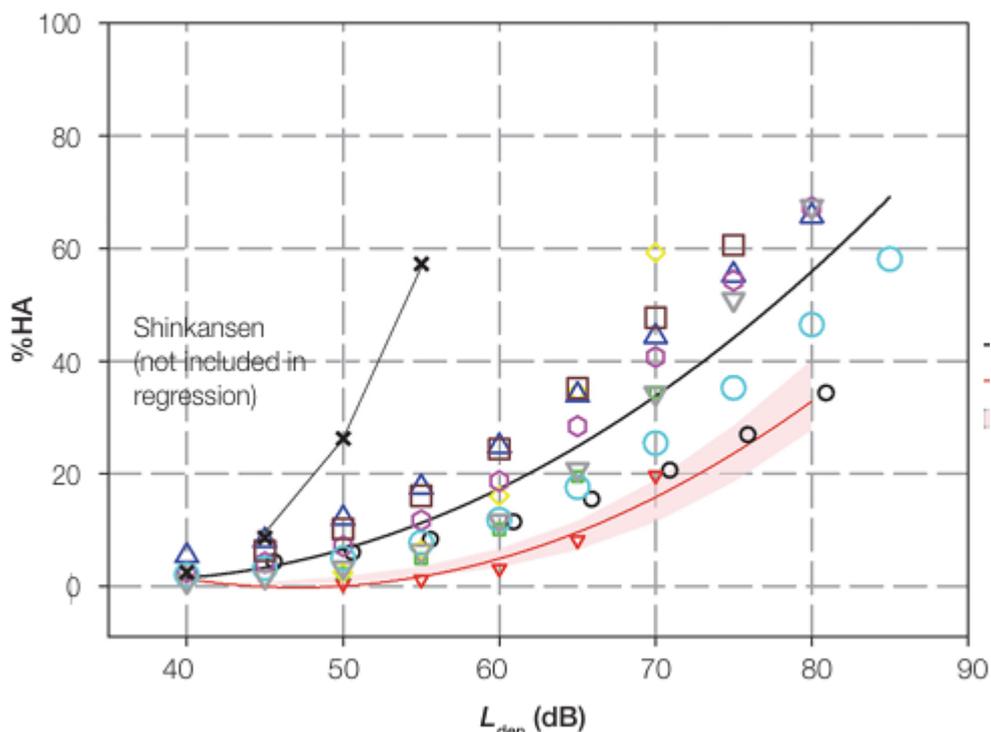


Рис. 2.1 Діаграма розсіювання та квадратична регресія зв'язку між залізничним шумом (L_{den}) та дратівливістю (%HA)

Наукові дослідження, екологічні норми та моніторинг міста підтверджують, що ці явища мають системний характер і потребують постійного контролю. Їх значимість визначається поєднанням медичних, технічних та соціальних аспектів, які впливають на якість життя в сучасних містах.

Перш за все, шум і вібрації мають великий вплив на здоров'я людини, і це добре досліджене. Хронічний шум порушує режим сну, ускладнює засинання та погіршує його якість. Дослідження показують, що навіть низькі рівні шуму, які відповідають нормам, але виникають вночі, можуть призводити до тривоги, ускладнень настрою та загального втомлювання. Постійний шум підвищує артеріальний тиск, тому що він змушує працювати симпатичну нервову систему і викликає випуск гормонів, таких як кортизол. У результаті збільшується ризик розвитку серцево-судинних захворювань, включаючи інфаркти та інсульти. Відомо, що фоновий шум також впливає на розумові здібності: дослідження ВООЗ

показують, що діти, які живуть поруч з транспортними артеріями або в зонах високого шуму, мають більшість проблем із концентрацією уваги, повільніше засвоюють навчальну інформацію та демонструють зниження рівня уваги та пам'яті. Отже, стрес від шуму має як короткострокові, так і довгострокові наслідки, які впливають на розвиток і загальне здоров'я людей [14].

Не менш важливим є вплив вібрацій на міську інфраструктуру, особливо в умовах постійного зростання транспортних та будівельних навантажень. Механічні коливання, що виникають через рух важких транспортних засобів, роботу метро, механічних агрегатів та будівельної техніки, можуть призводити до появи мікротріщин у стінах та стелях будівель. У старих будівлях, які були побудовані без врахування сучасних навантажень, ці процеси можуть стати причиною серйозних структурних порушень. Особливу небезпеку становлять резонансні коливання, які виникають, коли частота зовнішніх коливань збігається з власною частотою конструкції. Це може призвести до масштабних пошкоджень, які непомітно накопичуються, але в кінцевому підсумку призводять до зниження міцності матеріалів. Вібрації також швидко впливають на знос інженерних систем – водопостачання, опалення, електропостачання, тому що викликають поступове ослаблення кріплень, з'єднань та опорних елементів. Для мостів, тунелів та транспортних коридорів такі навантаження є особливим ризиком, оскільки вони прискорюють виникнення дефектів, зменшують термін експлуатації та зростає ймовірність аварій. Тому вимірювання та спостереження за вібраціями є важливим фактором для здійснення безпечної та довговічної експлуатації міських об'єктів.

Важливо також зазначити соціально-психологічну сторону цієї проблеми, оскільки шум та вібрації значно впливають на суб'єктивне відчуття комфорту. Зменшення якості акустики середовища призводить до погіршення психологічного стану людей, зростання рівня тривожності, дратівливості, відчуття перенасичення подразненням. У районах, де постійно високий рівень шуму, часто спостерігається зниження цін на житло, оскільки такі місця вважаються менш придатними для проживання. Одночасно знижується туристична привабливість: місця, де шум перевищує прийнятні межі, рідше вибираються для відпочинку або прогулянок, що

негативно впливає на місцевий бізнес. Це говорить про те, що акустичне та вібраційне середовище є важливим елементом міського простору, який впливає на соціальну структуру та економічний рівень регіону [15].

Таким чином, негативний вплив шуму та вібрацій у міському середовищі - це складна проблема, яка має різноманітні наслідки для медицини, техніки та суспільства. Він стикається як із здоров'ям людини, так і із станом міських споруд та загальною якістю життя. Оскільки це так, системи контролю цих показників, особливо на основі технологій Інтернету речей, утворюють важливу частину сучасного містобудування та екологічної політики. Вони дозволяють виявляти потенційні ризики вчасно та розробляти підтвержені науково стратегії управління міським середовищем.

2.2 Огляд та вибір сенсорів для збору даних

Створення сучасної інтелектуальної системи Інтернету речей (IoT) для відстеження стану навколишнього середовища неможливе без добре продуманої підсистеми збору даних, яка є основою як якісного аналізу, так і правильної діагностики та прогнозу. У разі вимірювання шумового забруднення та вібрації, особливо важливо забезпечити точні, надійні та стабільні результати, що відображають природні процеси в міському середовищі. Сучасні технології зв'язку та комп'ютерів дозволяють обробляти великі об'єми даних у режимі реального часу, але їхній правильний характер залежить від вірної роботи датчиків та їх оптимального вибору. Тому вивчення, аналіз та вибір датчиків для вимірювання шуму та вібрації є головною частиною створення будь-якої екологічної системи IoT, яка працює в складних умовах міської інфраструктури [16].

Акустичні датчики, або мікрофони, є важливими компонентами сучасних систем діагностики та моніторингу оточуючого середовища. Вони приймають звукові хвилі, які розповсюджуються в повітрі, і перетворюють їх на електричні сигнали, які потім можна обробляти. Принцип роботи цих датчиків полягає в тому, що вони фіксують звуковий тиск, який виникає через коливання частинок повітря,

і це призводить до змін у структурних елементах датчика. У сфері технічної діагностики акустичні датчики застосовуються для виявлення різних фізичних процесів, пов'язаних із пошкодженням механічних систем, наприклад, кавітації, турбулентного потоку, ударних навантажень або зношування підшипників. Дякуючи здатності точно фіксувати рівень звукового тиску, вони дозволяють виявляти на ранніх етапах дефекти обладнання, що підвищує ефективність діагностичних процедур і зменшує ризик виникнення аварійних ситуацій.

Важливим етапом у розвитку акустичних сенсорів стало застосування технології MEMS, яка значно покращила якість, надійність і функціональність мікрофонів. MEMS-мікрофони мають особливу мікромеханічну структуру, яка складається з мікроскопічної мембрани та нерухомого електрода, які разом утворюють конденсатор змінної ємності. Під впливом звукового тиску мембрана зазнає деформації, що викликає зміну ємності цього конденсатора. спеціалізована інтегральна схема ASIC приймає ці зміни і перетворює їх у електричний сигнал, який може бути як аналоговим, так і цифровим (наприклад, I2S або PDM). Така конструкція надає MEMS-мікрофонам високу стійкість до механічних коливань, змін температури та електромагнітних перешкод, що є дуже важливим для роботи в міських умовах та промислових системах моніторингу [17].

Переваги та недоліки MEMS-мікрофонів зображено в табл. 2.1.

Особливу роль відіграють технічні параметри MEMS-мікрофонів, оскільки вони визначають, у яких умовах ці прилади можна застосовувати. Серед головних показників – чутливість, яка показує, як вихідна напруга датчика залежить від рівня звукового тиску. Цей параметр вимірюється в децибелах порівняно з 1 В/Па, і зазвичай становить між -42 до -26 дБ.

Наприклад, якщо чутливість -38 дБ, це означає, що мікрофон створює певну напругу при тиску звуку 1 Па. Важливим також є діапазон частот, в якому мікрофон точно реагує на звуки з мінімальними відхиленнями. Зазвичай для акустичного аналізу діапазон складає 20 Гц - 20 кГц, але для технічних діагностичних завдань часто вистачає 50 Гц - 10 кГц, який відповідає основним частотам механічного шуму та вібрації [18].

Таблиця 2.1

Переваги та недоліки MEMS-мікрофонів

Переваги	Недоліки
Компактні розміри та низька маса	Нижча чутливість порівняно з електричними мікрофонами
Висока повторюваність параметрів	Обмеження у низькочастотному діапазоні
Вбудована аналогова або цифрова обробка	Обмежена ремонтпридатність та чутливість до забруднення
Широкий динамічний діапазон (до 120–130 dB SPL)	Чутливість до перепадів тиску
Температурна стабільність	Складність обробки цифрових інтерфейсів (PDM, I ² S)
Низьке енергоспоживання	Схильність до електромагнітних завад
Можливість масового виробництва	Обмеження за максимальним рівнем звукового тиску у дешевих моделях

Важливим параметром, який визначає найнижчий рівень сигналу, який можна точно записати, є рівень власного шуму. Зазвичай він становить 25-35 дБ(А), і його значення впливає на здатність датчика виявляти тихі звуки. У системах спостереження шуму важливий низький рівень власного шуму, бо він забезпечує точність при вимірюванні слабких звуків. Крім того, важливим показником є максимальний рівень звукового тиску, при якому датчик залишається у лінійному режимі без серйозних спотворень. Зазвичай ця величина становить 120-130 дБ, що дозволяє використовувати MEMS-мікрофони в шумних середовищах, наприклад, на промислових об'єктах або в транспортних вузлах. Сучасні акустичні сенсори, особливо MEMS-мікрофони, забезпечують високу точність, стабільність та гнучкість у роботі. Вони використовуються в системах технічної діагностики та моніторингу навколишнього середовища. Низьке споживання енергії, компактні розміри та можливість інтегрувати їх у різні системи роблять їх важливими для інтелектуальних рішень IoT. Ці рішення дозволяють аналізувати шум, виявляти аномалії в акустичних явищах у містах. Дана здатність забезпечує точніші

вимірювання, що дозволяє ефективніше приймати рішення щодо екологічної безпеки, експлуатації інфраструктури та діагностики технічних об'єктів [18].

Порівняння основних використовуваних MEMS-мікрофонів відображено в табл. 2.2

Таблиця 2.2

Порівняння MEMS-мікрофонів

Параметр	MAX9814 (аналоговий з АРУ)	INMP441 (цифровий I2S)
Чутливість	-38 дБ	-26 дБ
Діапазон частот	20 Гц – 20 кГц	60 Гц – 15 кГц
Рівень шуму	29 дБ(А)	61 дБ(SPL)
Максимальний SPL	125 дБ	120 дБ
Споживання струму	400 мкА (типово)	650 мкА (активний режим)
Напруга живлення	2.7–5.5 В	1.8–3.6 В
Цифровий інтерфейс	Відсутній (аналоговий вихід)	I2S, 24 біт
Температурний діапазон	-40°C до +85°C	-40°C до +85°C
Вартість (орієнтовна)	\$2–3	\$3–4
Переваги	Вбудований АРУ, простота	Висока точність, цифровий вихід, низькі спотворення
Недоліки	Вище споживання, обмежена смуга	Вища вартість, складніша інтеграція

Датчики вібрації відіграють важливу роль в системах перевірки стану техніки та контролю механічних пристроїв, оскільки вони дозволяють точно вимірювати коливання, які виникають під час роботи машин та конструкцій. Вібрації передають корисну інформацію про стан обладнання, зокрема про такі проблеми, як дисбаланс, похибки у встановленні, зношення, вібрації або інші недоліки, які можуть призвести до зношення апарату або зниження його роботи. Сьогодні використовуються різні види датчиків, такі як акселерометри, гіроскопи та

п'єзоелектричні датчики, кожен з яких має власний спосіб вимірювання та облаштується в різних випадках.

Один із найпоширеніших видів датчиків вібрації — це акселерометри, які вимірюють лінійне прискорення та дозволяють аналізувати коливання механічних систем у режимі реального часу. У технічній діагностиці вони використовуються для виявлення дисбалансу обертових елементів, контролю стану валів під час їх прискорення, а також для запису механічних коливань, що можуть вказувати на несправності в механізмах. Сучасні акселерометри виготовляються переважно за допомогою технології MEMS, що забезпечує їх компактність, високу точність та можливість використання в маленьких пристроях або системах Інтернету речей. Принцип роботи акселерометрів полягає в тому, що рухома маса, закріплена на пружних балках, зміщується під впливом прискорення, відносно нерухомого електрода, що викликає зміну ємності. Цю зміну електричного параметра зчитує спеціальна схема ASIC, яка перетворює її на цифровий сигнал. Основні параметри акселерометрів — це діапазон вимірювання, який зазвичай становить $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ або $\pm 16g$, роздільна здатність до 16 біт, що забезпечує точність при вимірюванні малих прискорень, смуга пропускання до 1-5 кГц, а також рівень шуму, виміряний у $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$, який зазвичай становить 100-200 $\text{мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$. Комбінація цих параметрів робить акселерометри MEMS прийнятними для широкого спектру інженерних завдань, включаючи контроль стану будівель, інфраструктури та промислових об'єктів [19].

Переваги та недоліки акселерометрів зображено в табл. 2.3.

Порівняння основних, використовуваних акселерометрів зображено в табл.2.4.

Ще одним важливим типом датчиків є гіроскопи, які вимірюють кутову швидкість та використовуються для аналізу обертальних коливань, тобто для виявлення кутових змін та нестабільностей у рухомих частинках механізмів. Гіроскопи, які виготовляються на основі MEMS, працюють за допомогою ефекту Коріоліса [20].

Таблиця 2.3

Переваги та недоліки акселерометрів

Переваги	Недоліки
Висока чутливість до змін руху та вібрацій	Чутливість до шумів та дрейфу
Компактність та низька маса	Обмежена точність у низькочастотному діапазоні
Низьке енергоспоживання	Чутливість до положення в просторі (вплив гравітації)
Широкий діапазон вимірювань	Обмеження у вимірюванні швидких ударів
Висока стійкість до механічних впливів	Неможливість вимірювання обертальних рухів
Простота інтеграції	Температурна залежність характеристик
Можливість тривимірного аналізу руху	Потреба в калібруванні

Таблиця 2.4

Порівняння акселерометрів

Параметр	ADXLS345	MPU6050
Тип сенсора	3-осьовий акселерометр	3-осьовий акселерометр + 3-осьовий гіроскоп
Діапазон прискорень	±2g, ±4g, ±8g, ±16g	±2g, ±4g, ±8g, ±16g
Роздільна здатність	13 біт (4 мГ/лічильник)	16 біт (акселерометр)
Шум (щільність)	150 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Гц}}$ (типово)	400 $\mu\text{g}/\sqrt{\text{Гц}}$ (типово)
Споживання струму	40–140 мкА (активний режим)	3.9 мА (активний режим)
Напруга живлення	2.0–3.6 В	2.375–3.46 В
Цифровий інтерфейс	I2C/SPI	I2C
Температурний діапазон	-40°C до +85°C	-40°C до +85°C
Вартість (орієнтовна)	\$2–3	\$4–6
Додаткові функції	Вільне падіння, double-tap	DMP (Digital Motion Processor)
Переваги	Низьке споживання, висока точність	Компактна 6DoF система, готові бібліотеки
Недоліки	Вимірює тільки прискорення	Вище споживання, вища вартість

Коли мікромеханічна маса всередині датчика рухається в певному напрямку, а система в цілому обертається, виникає сила, яка пропорційна кутовій швидкості у вертикальному напрямку. Ця сила призводить до деформації конструкції або зміни ємності між електродами, які вимірюються вимірювальною схемою і перетворюються в електричний сигнал. Гіроскопи мають такі параметри, як діапазон вимірювання, який може бути $\pm 250^\circ/\text{с}$, $\pm 500^\circ/\text{с}$ або $\pm 2000^\circ/\text{с}$, та рівень шуму, вимірюваний у $^\circ/\text{с}/\sqrt{\text{Гц}}$. Беручи до уваги високу чутливість до змін кутової швидкості, такі датчики широко застосовуються в системах стабілізації, навігації та діагностичних методах аналізу обертальних процесів [20].

Переваги та недоліки гіроскопів зображено в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Переваги та недоліки гіроскопів

Переваги	Недоліки
Вимірювання кутової швидкості та обертання	Дрейф та накопичення похибок
Висока точність і швидка динамічна реакція	Високе енергоспоживання
Робота у високочастотному діапазоні	Чутливість до температурних змін
Незалежність від впливу гравітації	Власний шум та вібраційні перешкоди
Плавність та безперервність вимірювань	Вища вартість порівняно з акселерометрами
Простота інтеграції у цифрові системи	Відсутність абсолютного значення кута
	Можливі резонансні викривлення

П'єзоелектричні датчики вібрації є особливими серед інших датчиків. Вони створюють електричний заряд, коли на них діють механічні зміни. Оскільки вони чутливі до високочастотних коливань, їх часто використовують у точних вимірюваннях, зокрема для захоплення коливань, які відбуваються швидше ніж 5 кГц. Вони дуже корисні під час перевірки вібрацій, аналізу роботи швидких машин та в умовах сильних механічних навантажень. Проте, вони мають і певні недоліки, наприклад, залежність від температури та необхідність використання пристроїв, що підсилюють заряд, що ускладнює встановлення таких датчиків в маленькі системи.

Тим не менш, коли потрібно високе рівняння точності та робота в різних частотних діапазонах, п'єзоелектричні датчики - найкращий вибір [21].

Переваги та недоліки гіроскопів зображено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Переваги та недоліки п'єзоелектричних датчиків

Переваги п'єзоелектричних датчиків	Недоліки п'єзоелектричних датчиків
1. Висока чутливість до динамічних навантажень	1. Неможливість вимірювання статичних величин
2. Широкий частотний діапазон	2. Залежність від температури
3. Висока механічна міцність і довговічність	3. Необхідність підсилювачів та фільтрації
4. Низьке енергоспоживання	4. Чутливість до паразитних механічних шумів
5. Проста конструкція та низька собівартість	5. Можливе старіння матеріалу
6. Висока стабільність характеристик	

Сучасні датчики вібрації, зокрема акселерометри, гіроскопи та п'єзоелектричні датчики, дозволяють точно вимірювати параметри лінійних та кутових прискорень, а також високочастотних механічних коливань. Вони є важливим інструментом у системах контролю стану техніки, оскільки допомагають виявляти проблеми на ранніх етапах, що збільшує надійність обладнання та підвищує ефективність обслуговування. Зростання технологій MEMS значно збільшило можливості вбудовувати датчики вібрації в компактні та розумні пристрої, що сприяє створенню сучасних систем Інтернету речей та кіберфізичних систем для контролю стану оточуючого середовища та промислової інфраструктури.

Правильний вибір датчиків для систем контролю навколишнього середовища, технічної діагностики та промислових рішень на основі IoT - це складний процес, який враховує багато технічних, експлуатаційних та економічних аспектів.

Ефективність цих систем в основному залежить від здатності датчиків надавати точні, стабільні та правильної природи дані в реальних умовах роботи, які часто супроводжуються змінами температури, вологи, механічних навантажень та електромагнітних завихрень. Тому підбір датчиків має здійснюватися на основі оцінки ключових параметрів, які визначають їх придатність для використання в конкретному середовищі, та здатності забезпечувати довготривалу та надійну роботу системи [22].

Один із основних показників - це точність датчика та рівень його внутрішнього шуму, тому що саме ці параметри визначають здатність пристрою фіксувати тонкі або швидко змінюються сигнали. Для акустичних приладів особливо важливим є низький еквівалентний рівень шуму, який має бути менше 30 дБ(А). Це дозволяє вимірювати навіть слабкі звукові сигнали на фоні природних звукових перешкод. У разі вібраційних датчиків, наприклад, MEMS-акселерометрів, ключовим параметром є щільність шуму, рівень якої має бути нижчим за $150 \text{ мкг}/\sqrt{\text{Гц}}$. Цей показник визначає здатність датчика точно вимірювати малі прискорення та виявляти на ранніх етапах незвичайні дії механізмів, що особливо значимо в системах прогнозування порушень і технічного аналізу.

Споживання енергії є дуже важливим моментом під час створення автономних систем, які працюють від батарей або слабких джерел живлення. У таких випадках треба враховувати, скільки енергії витрачає система під час роботи та чи має вона функції, які зменшують споживання, особливо в режимі сну, коли споживання не перевищує 10 мкА. Ці показники впливають на те, скільки часу система може працювати без підключення до електричної мережі та визначають частоту технічного обслуговування, що має особливий зміст для систем віддаленого або розподіленого контролю [23].

Вартість покупки датчика складається не тільки з ціни самого пристрою, але й вартості інших елементів, наприклад, підсилювачів, пристроїв перетворення аналогового сигналу в цифровий, регуляторів потужності та захисних компонентів. Навіть дешевий датчик може потребувати складних допоміжних пристроїв для правильного його використання, що в свою чергу збільшує загальну вартість

системи. Тому під час вибору датчика слід враховувати не лише ціну самого пристрою, а й повну вартість його вбудування та експлуатації [24].

Легкість встановлення - це ще один важливий показник. Датчики з цифровими з'єднаннями, наприклад, I2C, SPI або I2S, значно спростять підключення, забезпечать високу стійкість до завад і зменшать кількість потрібних електронних компонентів. У порівнянні з ними аналогові датчики вимагають зовнішніх пристроїв для перетворення сигналів та складних схем обробки, що робить систему складнішою та можливо більш вразливою до порушень. Тому сучасні технології Інтернету речей частіше використовують цифрові датчики, які мають компактну конструкцію, простий ввід та високу якість сигналу [24].

Додаткові параметри, такі як діапазон температур, стійкість до механічних впливів та розміри, мають значення, коли датчики застосовуються в промислових або складних умовах. Для промислового використання необхідний широкий діапазон температур (від -40°C до $+85^{\circ}\text{C}$), оскільки обладнання часто витримує екстремальні зміни температури. Стійкість до ударів та вібрацій визначає надійність датчиків у транспорті, будівництві та інфраструктурі, а їх малі розміри дозволяють встановлювати їх у мікросхеми Інтернету речей або носимі пристрої.

Під час вибору датчиків важливо враховувати умови, в яких вони будуть працювати, оскільки вони безпосередньо впливають на тривалість роботи та точність вимірювань. Коливання температури можуть призвести до відхилень показань, тому в тяжких умовах роботи часто потрібне додаткове калібрування, щоб утримувати стабільність результатів. Висока вологість і утворення конденсату можуть викликати корозію металевих частин та зношування чутливих елементів, тому використовують захисні покриття, наприклад, симетричне покриття. Електромагнітні завади, які часто зустрічаються в місті та на промислових територіях, найбільше впливають на аналогові датчики, а цифрові датчики з різними інтерфейсами, особливо I2S, більш стійкі до таких завад [24].

Наявність допоміжних програмних інструментів та бібліотек є важливим фактором. Датчики, наприклад, INMP441, потребують спеціальних драйверів та правильного налаштування цифрових інтерфейсів, тоді як модулі, такі як ADXL345

або MPU6050, постачаються з розширеним набором готових бібліотек, що значно зменшує час розробки. Відсутність або наявність документації, прикладів коду та алгоритмів обробки сигналів впливає на легкість інтеграції датчика в системне програмне забезпечення [24].

Калібрування має важливе значення для забезпечення довгострокової точності. Незважаючи на те, що датчики MEMS є дуже стабільними, для компенсації систематичних помилок, врахування зовнішніх впливів та узгодження при одночасному використанні кількох датчиків потрібне додаткове калібрування. Термін служби таких датчиків зазвичай більше десяти років, що робить їх найкращим варіантом для систем моніторингу інфраструктури та довгострокових наукових досліджень [24].

Тож вибір датчиків для систем моніторингу - це складне інженерне завдання, яке потребує повного аналізу характеристик пристроїв, умов їх працездатності, можливостей інтеграції, а також вимог до точності та стабільності вимірювань. Щоб створити ефективну, надійну та стійку систему Інтернету речей, здатну забезпечити високу якість даних та стабільну роботу в реальних умовах, потрібно узагальнений підхід до оцінки всіх цих параметрів [25].

Отже, ґрунтуючись на вище вказаних параметрах було вирішено використовувати наступні датчики:



Рис. 2.2 NodeMCU V3 ESP8266

Одна з найбільш поширених платформ у сучасних проектах IoT - Arduino ESP8266 з Wi-Fi та Bluetooth версії 3.0 та чіпом CH340 - це універсальний модуль, який поєднує функції мікроконтролера, бездротового зв'язку та легкої інтеграції в системи автоматизації. Популярність цієї плати пов'язана з тим, що вона забезпечує хороший баланс між продуктивністю, вартістю та простотою використання, що робить її привабливою як для новачків, так і для професіоналів. Основна функціональність плати заснована на чіпі ESP8266, який надає повну комп'ютерну логіку та підтримку Wi-Fi без необхідності додаткових модулів.

Вбудований модуль Wi-Fi дозволяє мікроконтролеру працювати як клієнт, точка доступу або веб-сервер, що дає змогу створювати «розумні» пристрої, системи моніторингу, елементи домашньої автоматизації та інші рішення для IoT. У деяких версіях плати є функція Bluetooth, яка розширює можливості застосування, дозволяючи пристроям взаємодіяти місцево, без потреби в з'єднанні з Інтернетом. Крім того, мікросхема CH340 виконує роль перетворювача USB-UART, забезпечуючи стабільне підключення до комп'ютера та підтримку багатьох операційних систем [26].

Arduino ESP8266 V3.0 характеризується компактними розмірами, енергоефективністю та достатнім набором контактів GPIO, що дозволяє працювати з датчиками, виконавчими механізмами та периферійними пристроями. Підтримка Arduino IDE, PlatformIO та інших середовищ робить програмування платформи максимально доступним, а наявність великої спільноти є важливим фактором для швидкого вирішення технічних проблем. Таким чином, плата є зручним інструментом для побудови як навчальних, так і промислових прототипів.

На завершення, Arduino ESP8266 WiFi Bluetooth V3.0 з CH340 можна вважати універсальним рішенням для створення мережевих електронних систем, які потребують бездротового зв'язку та високої гнучкості. Він поєднує сучасні можливості зв'язку, достатню потужність для обчислень та доступну ціну, що робить його важливим інструментом у створенні пристроїв Інтернету речей та інтелектуальних систем керування.

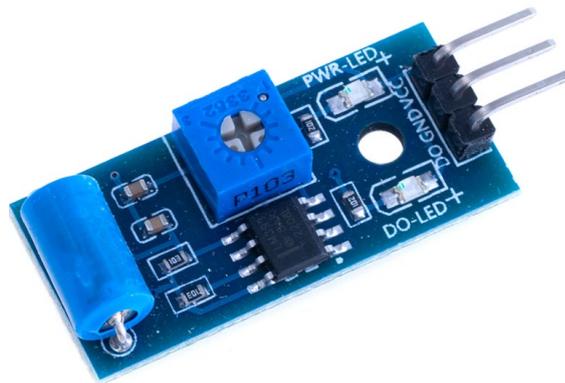


Рис. 2.3 Датчик вібрації SW-420

Датчик вібрації SW-420 є досить поширеним пристроєм у системах контролю стану обладнання, охоронної сигналізації та проектах автоматизації, де потрібно виявляти механічні коливання або ударні впливи. Він відноситься до категорії цифрових датчиків вібрації, і його відмінністю є простота конструкції, низька ціна та достатня чутливість, що робить його придатним для багатьох побутових та освітніх задач. Основою його роботи є пружина, розташована всередині металевого циліндра, яка при коливаннях замикає електричний контакт. Отже, датчик не вимірює сила коливань у фізичних одиницях, а просто фіксує факт механічного впливу, що робить його зручним для запуску або активації тривожних сигналів. SW-420 зазвичай живиться через плату компаратора, яка живиться з більшості пристроїв. На платі знаходиться мікросхема компаратора, зазвичай LM393, яка перетворює аналоговий сигнал, отриманий від датчика вібрації, на чистий цифровий вихід. Рівень чутливості можна регулювати за допомогою потенціометра, що знаходиться на пристрої: підвищення чутливості дозволяє датчику реагувати навіть на слабкі вібрації, а захист від шумів — ігнорувати невеликі механічні коливання. Плата також має світлодіодні індикатори, які вказують, чи пристрій живиться, і відображають його робочий стан, що спрощує діагностику під час створення проекту.

Датчик SW-420 працює при напрузі від 3,3 до 5 вольт, що робить його сумісним з Arduino, ESP8266, ESP32, STM32 та багатьма іншими

мікроконтролерами. На цифровому виході він видає сигнал «0», коли виявляє вібрацію, і «1», коли датчик знаходиться у стані очікування. Це дозволяє безпосередньо підключати датчик до входів мікроконтролера без необхідності використовувати складне додаткове підсилювальне обладнання. Однак потрібно зазначити, що датчик реагує на імпульсні зміни, тобто він чутливий не до постійного тиску, а до вібрацій або періодичних коливань [26].

Своєю простотою SW-420 широко застосовується в практичних проектах: для створення систем охорони, датчиків вібрації, контролю вібрації двигуна, виявлення відкриття дверей, моніторингу стану обладнання та промислових механізмів. Незважаючи на те, що датчик не забезпечує точних вимірювань вібрації та не підходить для високоточних діагностичних систем, він надійно виявляє механічні удари та є ефективним варіантом для дешевих проектів IoT та навчальних лабораторних робіт.

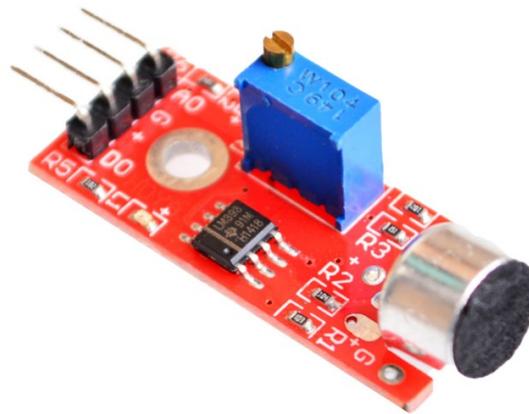


Рис. 2.4 Звуковий датчик VMA309

Звуковий датчик VMA309 - це маленький електронний модуль, призначений для запису акустичних коливань та їх перетворення на електричний сигнал, який можна використовувати для подальшої обробки мікроконтролерами. В його основі знаходиться електретний мікрофон, який реагує на зміни тиску повітря і генерує слабкий аналоговий сигнал. Цей сигнал надходить на інтегровану схему, яка має два способи виведення: аналоговий та цифровий. Аналоговий канал (АО) передає

зміну напруги, пропорційну рівню звуку, що дозволяє в реальному часі визначати інтенсивність акустичних коливань. Цифровий канал (DO), який має компаратор і регульований поріг включення, видає дискретний сигнал, коли інтенсивність звуку перевищить певне значення, встановлене користувачем. Такий підхід робить датчик зручним і корисним як для приблизного вимірювання шуму, так і для побудови систем, які реагують на різкі звукові події [26].

Технічні параметри VMA309 дозволяють використовувати його як у навчальних, так і у напівпрофесійних проектах. Модуль працює при напрузі від 3,3 до 5 вольт, що робить його сумісним із багатьма контролерами, такими як Arduino, ESP8266 та іншими сучасними платформами. Датчик може вимірювати частоти в діапазоні приблизно від 50 Гц до 20 кГц, що відповідає звуковому діапазону, який може сприймати людський слух. Чутливість мікрофона становить 48-66 дБ, а вихідний опір - приблизно 2,2 кОм. Модуль має світлодіодні індикатори, які показують живлення та стан цифрового виходу, а також потенціометр для регулювання порогу спрацьовування, що значно спрощує його використання. Маленькі розміри та легка вага дозволяють легко інтегрувати датчик в корпуси портативних та стаціонарних пристроїв.

Пристрій працює за принципом перетворення акустичних хвиль у електричний аналоговий сигнал, який можна подати безпосередньо на вхід мікроконтролера або проходити через компаратор для визначення, чи було порушене порогове значення. Аналоговий вихід дозволяє створювати часові графіки, аналізувати шум оточуючого середовища та слідкувати за змінами інтенсивності звуку. Цифровий вихід виконує роль тригера, що використовується в системах сигналізації, пристроях безпеки, тригерах подій та інших проектах, де важливо виявити наявність гучного звуку. Завдяки простоті підключення та логічній схемі роботи, VMA309 є ефективним рішенням для завдань, які не вимагають високоточної акустичної діагностики.

Незважаючи на широкий набір переваг, датчик має певні обмеження, пов'язані з відсутністю калібрування та невисокою точністю аналогового сигналу. Він не дозволяє точно вимірювати рівень шуму в децибелах без додаткової

апаратної або програмної компенсації. Слабкий аналоговий сигнал може потребувати підсилення, особливо у випадках, коли передбачається складний аналіз, наприклад, спектральна обробка. Однак для більшості практичних рішень, пов'язаних із Інтернетом речей, освітніми проектами, системами «розумних» пристроїв та домашніми сигналізаціями VMA309 є надійною, стабільною та простим у використанні пристроєм для запису акустичних подій. Його гнучкість, доступність та легкість інтеграції роблять цей модуль ключовим елементом у багатьох сучасних розробках, пов'язаних із моніторингом звуку та автоматизованими системами управління [26].

Загалом, для побудови стійкої, надійної та масштабованої системи моніторингу шуму та вібрації в міському середовищі, найраціональнішим вибором є Датчик звуку VMA309 та Датчик вібрації SW-420 як основні датчики. Ці модулі забезпечують оптимальне співвідношення точності, вартості, енергоефективності та легкості інтеграції в сучасні IoT-платформи, особливо ті, що базуються на ESP8266, ESP32 або Arduino. Такий вибір дозволяє створити систему, яка може працювати в режимі реального часу, відстежувати зміни в навколишньому середовищі з високою надійністю та передавати дані для подальшого аналізу, моделювання, прогнозування та прийняття рішень у сфері екологічного менеджменту.

2.3 Архітектура IoT-системи для моніторингу довкілля

Архітектура сучасної системи IoT для моніторингу навколишнього середовища має багаторівневу структуру, яка забезпечує збір, передачу, обробку та візуалізацію даних, а також надійну роботу та можливість масштабування під час реального використання. Основою системи є сенсорний модуль, в якому важливу роль відіграє плата мікроконтролера NodeMCU V3 ESP8266 (CH340), яка одночасно виконує функції контролера та модуля з мережею. Використання NodeMCU дозволяє створити компактне та енергоефективне рішення, яке може одночасно отримувати дані від кількох датчиків, обробляти їх і передавати на

сервер в хмарі через Wi-Fi. У такій конфігурації сенсорний вузол використовує два типи датчиків: звуковий датчик VMA309 та датчик вібрації SW-420, що дозволяє отримувати інформацію про шумове та механічне забруднення навколишнього середовища в режимі реального часу.

Структурна схема взаємодії сенсорів та контролера зображена на рис. 2.5.

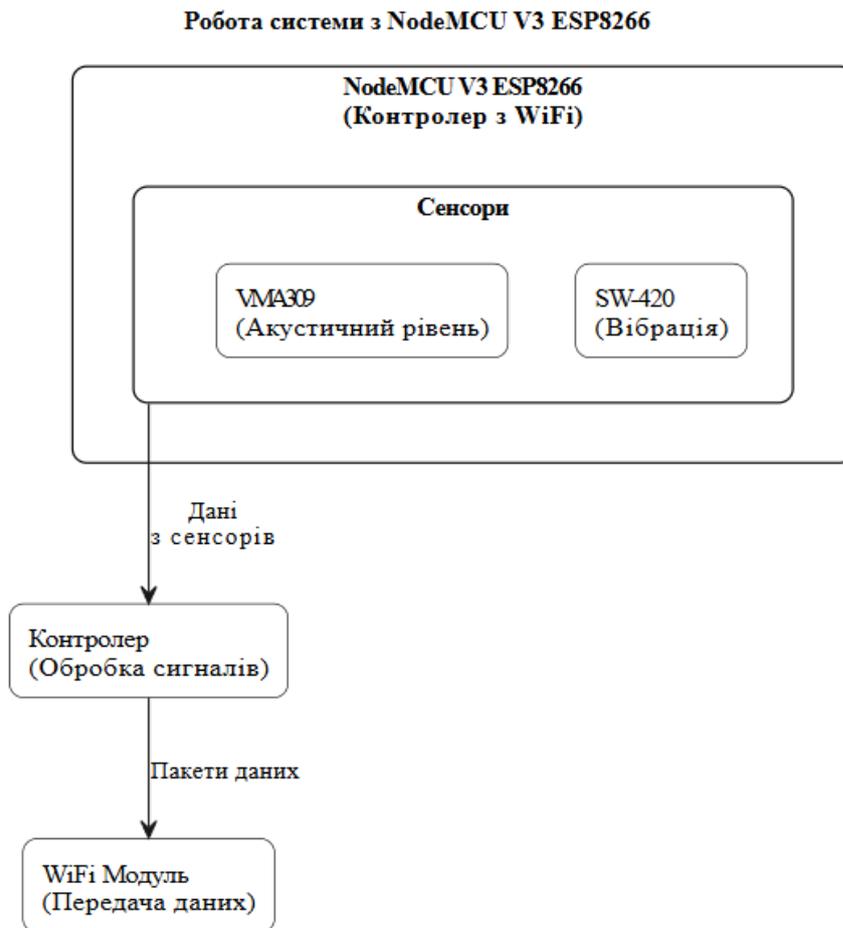


Рис. 2.5 Структурна схема взаємодії сенсорів та контролера

Блок-схема показує, як працюють сенсорні модулі SW-420, VMA309 та контролер NodeMCU V3 ESP8266. Вона описує процес збору, обробки та передачі сигналів з оточуючого середовища у системі Інтернету речей (IoT). Основу системи складає контролер NodeMCU V3 ESP8266, який має мікроконтролер на основі ESP8266 та вбудований модуль Wi-Fi. Інтеграція бездротового зв'язку в апаратну платформу дозволяє зменшити споживання енергії та спростити налаштування

системи, що має важливе значення при створенні компактних та автономних рішень для IoT. Контролер NodeMCU виконує роль головного обчислювального блоку, забезпечуючи збирання даних з датчиків, їх попередню обробку, логічну інтерпретацію та підготовку до передачі на зовнішні сервери або хмарні платформи.

Система має два основні сенсорні модулі, кожен з яких відповідає за вимірювання певного фізичного параметра. Датчик вібрацій SW-420 призначений для вимірювання механічних коливань та ударів. Він побудований на основі пружинного датчика та компаратора, який утворює цифровий сигнал високого або низького рівня залежно від наявності коливань. Цей модуль дозволяє ефективно відстежувати механічні удари на контрольованих об'єктах та швидко виявляти аномалії, пов'язані з коливаннями або структурними змінами. Мікрофонний модуль VMA309 призначений для запису акустичних коливань, генеруючи аналоговий сигнал, пропорційний рівню звуку. Отримані дані оцифровуються за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача, що вбудовано в контролер, що дозволяє подальше обробляти сигнали та інтегрувати їх у загальний потік даних системи. Комбінація датчиків різної фізичної природи забезпечує багатофізичний моніторинг навколишнього середовища та дозволяє комплексно оцінювати стан об'єктів контролю.

Обробка сигналів, які надсилають датчики, відбувається в логічному блоці контролера. Цей блок виконує кілька послідовних дій: очищає сигнал від шумів і завад, нормалізує отримані значення, виявляє події або аномалії та пакує дані у вигляд, який можна передати бездротовим шляхом. Така структура забезпечує самостійну роботу обчислювального процесу, зменшує об'єм даних, які надсилаються на сервер, і підвищує ефективність та надійність системи. Потім оброблені дані надсилаються на вбудований Wi-Fi модуль, який відповідає за передачу інформації на зовнішні ресурси. Це можна здійснити через різні протоколи зв'язку, наприклад HTTP, MQTT або WebSocket. Комбінування блоків збору та обробки даних з бездротовим зв'язком дозволяє зменшити затримки, збільшити швидкість реагування на події та забезпечити можливість масштабування системи при додаванні додаткових сенсорних модулів.

Загалом, блок-схема показує звичайну роботу систем IoT: фізичні дані, які збираються датчиками, виробляються на місці, обробляються та пояснюються локально, потім вони передаються в мережу або хмарну систему для збереження та подальшого аналізу. Використання NodeMCU V3 ESP8266 разом з модулями SW-420 та VMA309 дає можливість архітектурі бути гнучкою і здатною адаптуватися до різних завдань, таких як моніторинг середовища, технічна діагностика та збір даних в режимі реального часу. Такий підхід при виконанні систем IoT забезпечує ефективну інтеграцію елементів, які приймають дані, виконують обчислення та здійснюють зв'язок, в єдину робочу платформу, яка швидко реагує на зміни в середовищі, що вона контролює, та передає потрібну інформацію для подальшої аналітики.

Давайте детально розглянемо, як підключити кожен із сенсорів до плати NodeMCU V3 ESP8266 (CH340), що виступає як головний контролер системи моніторингу шуму та вібрацій (Схема підключення компонентів зображена на рис. 2.6.) [27].

Датчик звуку VMA309

- Аналоговий вихід модуля VMA309 приєднано до аналогового входу A0 на платі NodeMCU. Оскільки вхід A0 на ESP8266 може приймати напругу до 1,0 В, а модуль VMA309 видає напругу до 5 В, платі NodeMCU потрібно знизити рівень сигналу до прийняттого за допомогою вбудованого дільника напруги, щоб зменшити його з 3,3 В до вимогового рівня. Якщо ви використовуєте 5-вольтову версію VMA309, то для зниження напруги потрібно використовувати зовнішній дільник.

- Блок живлення датчика VMA309 приєднаний до контакту +3,3 В, що забезпечує стабільну роботу підсилювача мікрофона.

- Заземлення датчика (GND) має бути з'єднане з загальною шиною заземлення ESP8266, щоб забезпечити правильне формування аналогового сигналу.

Датчик вібрації SW-420

- Цифровий вихід модуля SW-420 підключено до одного з контактів GPIO, наприклад, D5 (GPIO14) або будь-якого іншого цифрового входу ESP8266,

залежно від того, як влаштований ваш проект. У модуля є вбудований компаратор, тому вихід від нього віддає сигнали HIGH або LOW, залежно від того, чи досягли значення на вхід порогу спрацьовування.

- Джерело живлення для датчика SW-420 можна підключити до напруги +3,3 В, хоча більшість модулів можуть працювати і при 5 В. Оскільки логічні входи ESP8266 найкраще працюють при напрузі 3,3 В, рекомендується використовувати саме цю напругу, щоб уникнути можливого перевантаження.

- Заземлення датчика (GND) потрібно підключити до будь-якого з контактів заземлення на платі NodeMCU, щоб забезпечити спільний нульовий потенціал, що необхідне для правильної роботи цифрового компаратора.

NodeMCU V3 ESP8266 (CH340)

- Модуль NodeMCU використовується як основа для отримання та обробки сигналів від датчиків VMA309 та SW-420. Аналоговий канал A0 відповідає за перетворення аудіосигналу в цифрову форму, а цифрові входи дозволяють записувати імпульси, що надходять від сигнального модуля.

- Система може отримувати живлення через USB-порт або стабілізоване джерело напруги 5 В, яке вбудованою схемою перетворюється в 3,3 В.

- Це забезпечує відповідність вимогам датчиків.

- Усі з'єднання змінної GND мають бути з'єднані разом, тому що використання «плаваючої» землі може призвести до появи шумів в аналоговому каналі та неправильного вимкнення датчика SW-420.

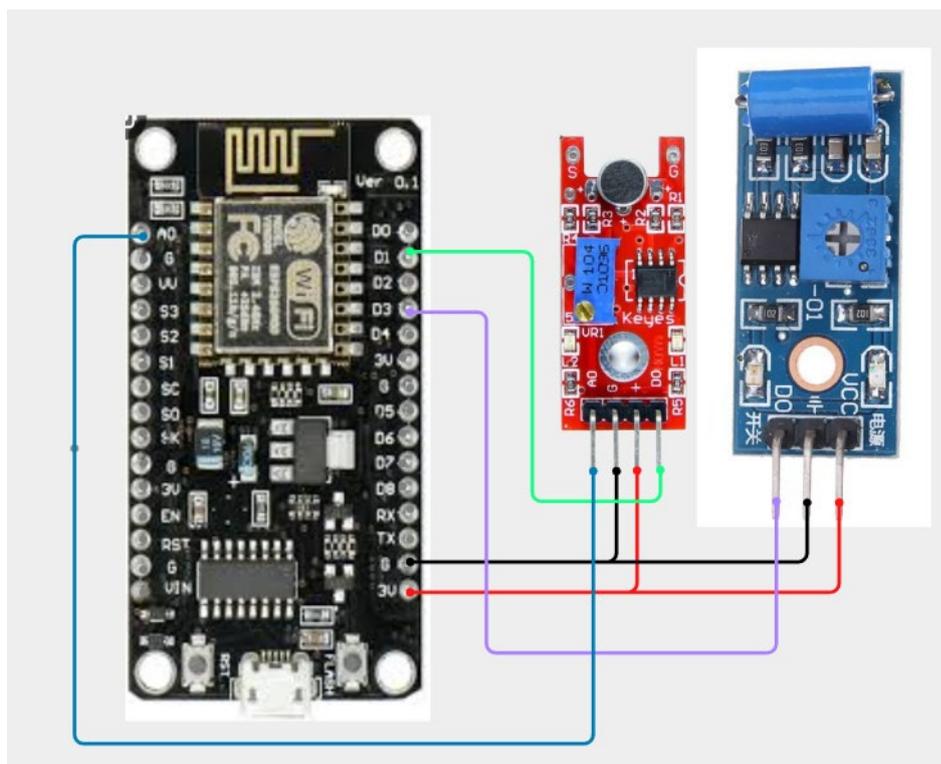


Рис. 2.6 Схема підключення контролера та сенсорів

Система з підключеними датчиками працює як єдина мережа для збору екологічних та технічних даних. Вона має кілька основних елементів, кожен з яких виконує певну функцію для забезпечення постійного контролю параметрів навколишнього середовища. NodeMCU 1.0 (модуль ESP-12E) є основним блоком управління системою. Він відповідає за зчитування даних з датчиків, первинну обробку отриманих вимірювань та передачу цих даних на зовнішні сервери через Wi-Fi. Цей мікроконтролер виступає як головний вузол, що забезпечує з'єднання всіх елементів системи, а вбудований модуль Wi-Fi дозволяє виконувати бездротовий обмін даними без додаткових пристроїв.

Датчик вібрації SW-420 використовується для захоплення механічних коливань та ударів. Він регулярно перевіряє, чи є вібрація на поверхні, до якої прикріплено. Всередині датчика знаходиться система контактів з металевою кулькою, яка створює з'єднання під час коливань. Щоразу, коли виявляється вібрація, датчик відправляє цифровий сигнал на мікроконтролер через один із цифрових входів NodeMCU. Наприклад, коли на корпус датчика діє зовнішній

механічний вплив, компаратор видає сигнал у вигляді логічного рівня «1», який передається на контролер, а це дозволяє визначити момент з'явлення вібрації. Такий процес забезпечує можливість контролю вібрацій, ударів або нерівномірних коливань у оточуючому середовищі.

Мікрофонний модуль VMA309 вимірює рівень звукового тиску та акустичні коливання в оточуючому середовищі. Він працює за допомогою конденсаторного мікрофона та вбудованого підсилювача, який виробляє аналоговий сигнал, пропорційний силою звуку. Модуль підключено до аналогового входу NodeMCU (A0), де він передає безперервний потік аналогових даних. Мікроконтролер регулярно зчитує цей сигнал, перетворює його в цифровий код за допомогою вбудованого аналого-цифрового перетворювача та використовує для аналізу рівня шуму, визначення амплітуди звукових хвиль або аналізу коливань у режимі реального часу. Такий спосіб роботи дозволяє виявляти аномальні звукові явища, підвищений шум або пульсуючі звукові сигнали.

Після того як мікроконтролер отримує дані від підключених датчиків, він їх обробляє. Наприклад, аналоговий сигнал від датчика VMA309 проходить процес нормалізації та фільтрації, після чого може бути використаний для визначення середнього рівня шуму або його пікових значень. Дані від цифрового датчика SW-420 розглядаються як послідовність логічних значень, що дозволяє фіксувати моменти його включення та визначати частоту вібраційних подій. Отримані оброблені результати зливаються в одну загальну структуру даних, а потім передаються на сервер або в облако через Wi-Fi. Для передачі використовується один із стандартних протоколів зв'язку, наприклад, HTTP або MQTT. Наприклад, контролер може відправляти структурований HTTP POST-запит на веб-сервер, який зберігає отримані дані в базі для подальшого аналізу та довгострокового моніторингу. Такий процес забезпечує неперервний контроль стану навколишнього середовища, дозволяє відстежувати як звукові, так і вібраційні процеси, а також використовувати зібрану інформацію для автоматизації, прогнозування або виявлення аномалій.

3 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ

3.1 Розробка програмного забезпечення для збору та обробки даних

Було вибрано середовище Arduino IDE для створення програмного забезпечення. Воно є загальнодоступним інструментом для програмування мікроконтролерів Arduino та інших сумісних апаратних платформ. Це середовище доступне безкоштовно, має простий інтерфейс, що робить його легкою для використання платформою, де можна легко писати, компілювати та відправляти код прямо на мікроконтролер.

Arduino IDE містить всі необхідні інструменти для повного процесу розробки вбудованого програмного забезпечення. Вбудований текстовий редактор дозволяє створювати та редагувати програми на мові Arduino, яка покликана на C++ і має додаткові функції для зручної роботи з апаратними ресурсами. Після того, як програма написана, середовище здійснює її компіляцію та перетворення в машинний код, який може зрозуміти мікроконтролер.

Серед головних переваг середовища розробки Arduino IDE - це можливість автоматичного завантаження готового коду на плату через стандартний комунікаційний інтерфейс, що значно зручніше для налагодження та тестування системи. Крім того, у середовищі є вбудований монітор послідовного порту, який дозволяє відстежувати обмін даними між мікроконтролером та комп'ютером в режимі реального часу, що допомагає у аналізі роботи програми та виявленні помилок. Вартує окремої уваги механізм управління бібліотеками, який дозволяє легко підключати, оновлювати та використовувати готові програмні модулі для роботи з різними периферійними пристроями та протоколами зв'язку. Дякуючи підтримці широкого спектру апаратних платформ, середовище розробки Arduino IDE можна застосовувати для створення програмного забезпечення для різних моделей мікроконтролерів, що робить його універсальним і зручним інструментом у сфері вбудованих систем [28].

У середовище розробки Arduino IDE інтегровані додаткові інструменти для роботи з мікроконтролером ESP8266, а в розділ налаштувань програми вставлено посилання на розмітку. «http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json» в поле «Additional Boards Manager URLs»

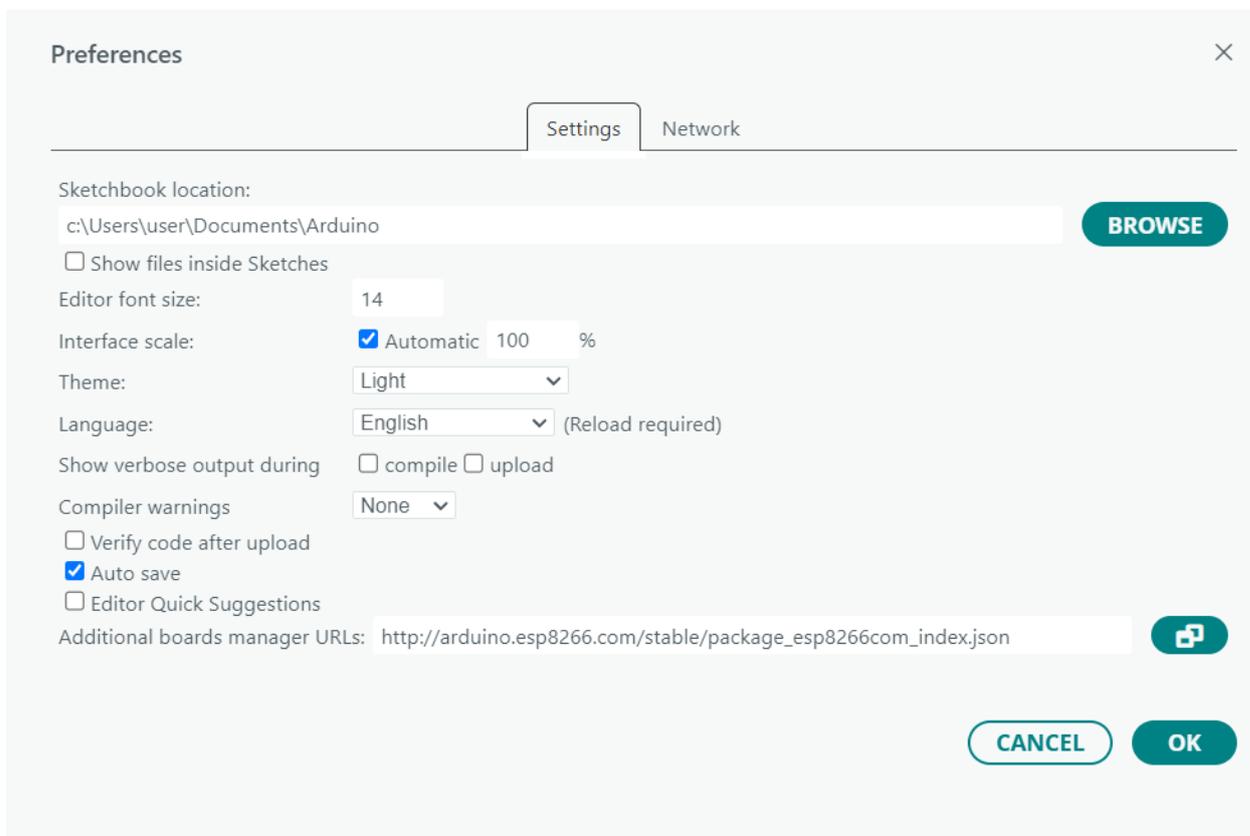


Рис. 3.1 Додання списку по ESP8266 до менеджера плат

Потім, у налаштуваннях меню «Board Manager» (рис. 3.2), було встановлено програмне забезпечення для розпізнавання та підключення модулів - «ESP8266 від ESP8266 Community» (рис. 3.3).

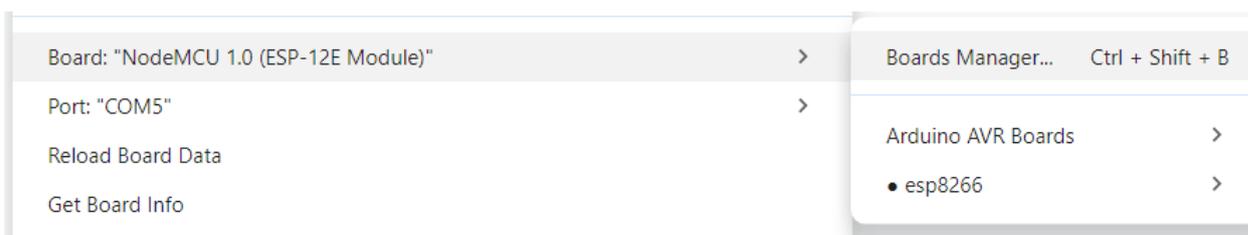


Рис. 3.2 Меню «Менеджер плат»

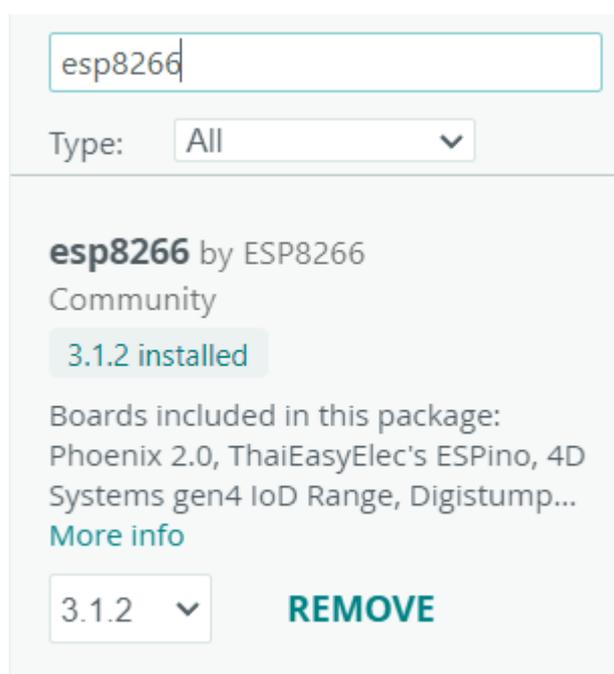


Рис. 3.3 Встановлення програмного забезпечення

Після того, як середовище готове до роботи з мікроконтролером ESP8266, потрібно налаштувати робоче середовище. Перш за все, потрібно вибрати плату зі списку в меню Board Manager (рис. 3.4).

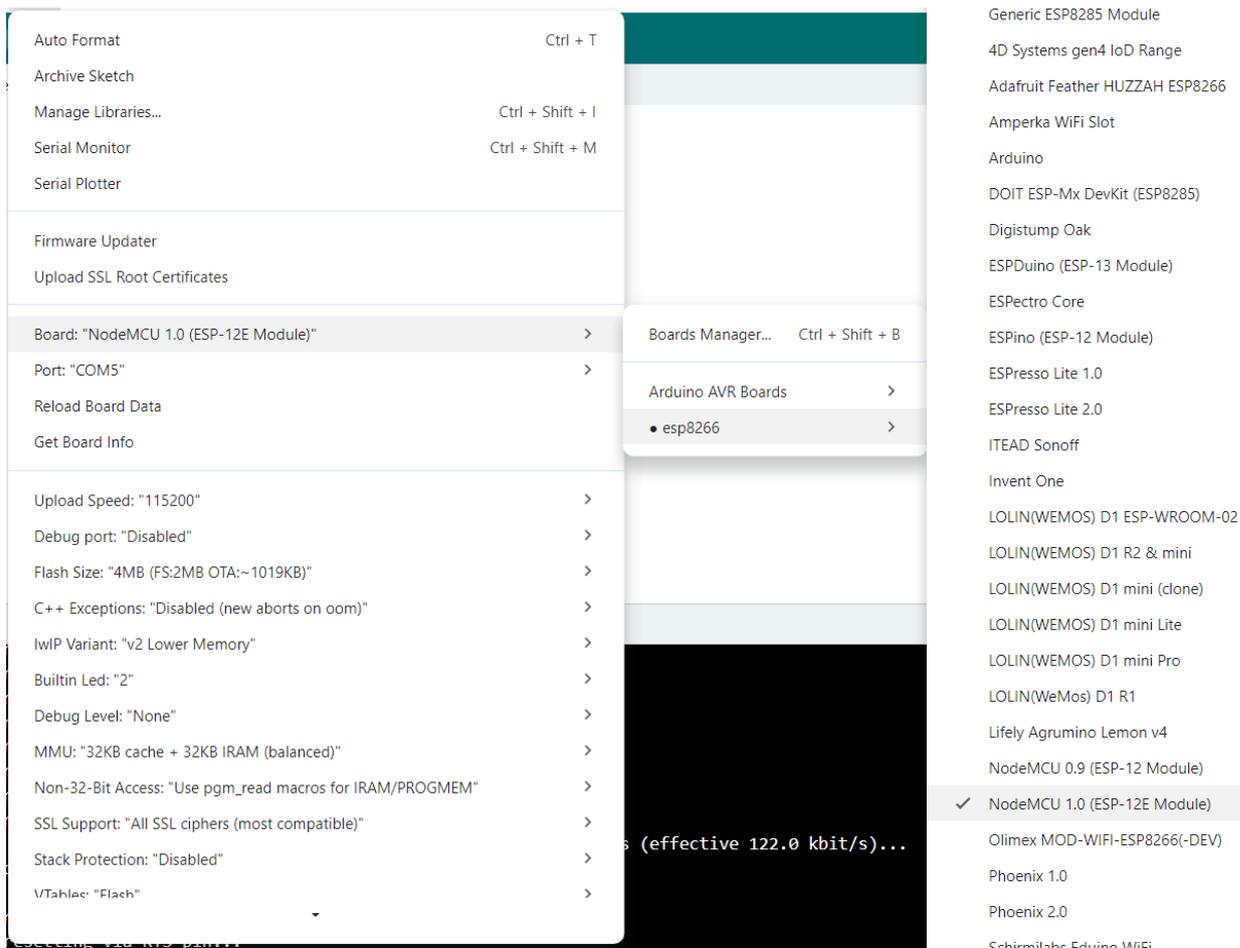


Рис. 3.4 Меню «Диспетчер плат»

Далі потрібно вибрати порт комп'ютера, до якого підключена карта, щоб середовище могло з нею взаємодіяти (рис. 3.5).

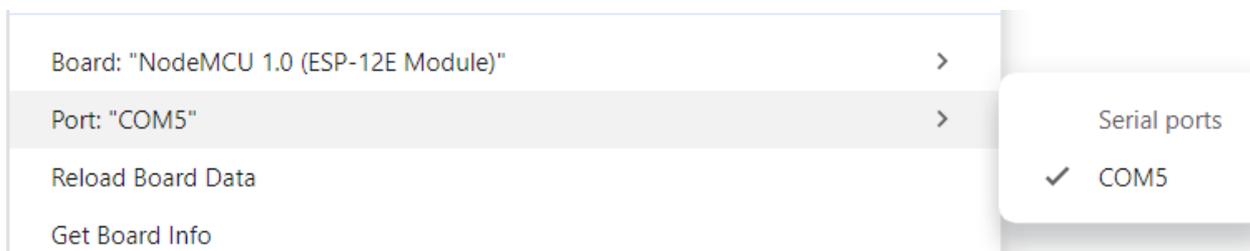


Рис. 3.5 Вибір порту

Після вищезазначених кроків середовище розробки Arduino IDE готове до використання мікроконтролера ESP8266, воно може розпізнати плату та оновити її, завантаживши програмне забезпечення в пам'ять плати.

Алгоритм роботи пристрою зображено на рис. 3.6.

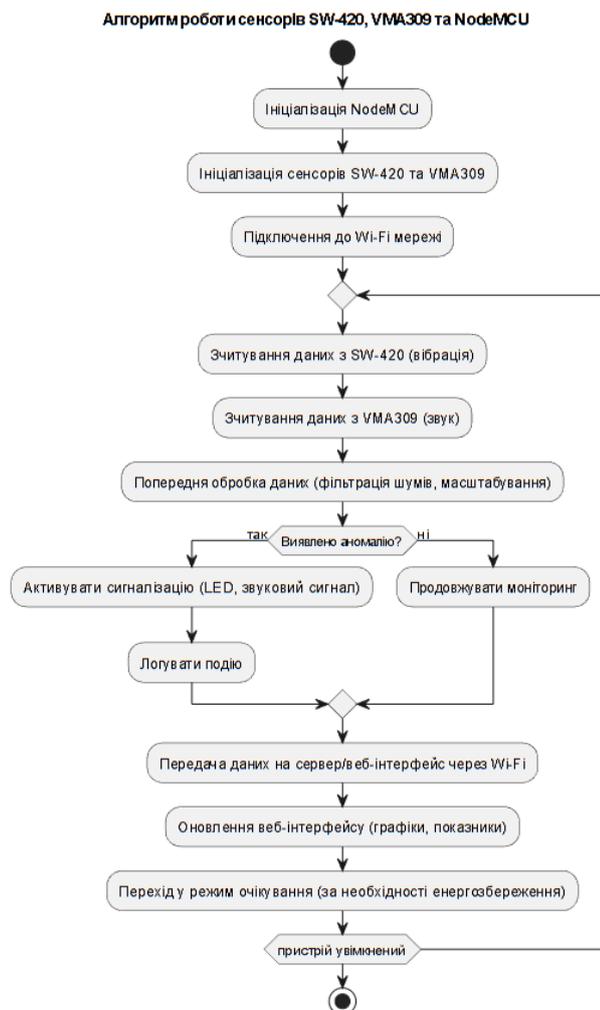


Рис. 3.6 Алгоритм роботи пристрою

На основі алгоритму роботи пристрою було написано код для програмного забезпечення.

На початковому етапі коду використовуються потрібні бібліотеки: ESP8266WiFi.h, WebSocketsClient.h та ArduinoJson.h (рис. 3.7). Бібліотека ESP8266WiFi.h призначена для роботи Wi-Fi модуля, дозволяючи підключатися до

бездротових мереж та визначати стан з'єднання. `WebSocketsClient.h` відповідає за реалізацію клієнтської частини протоколу `WebSocket`, що забезпечує двосторонній зв'язок між контролером та сервером. `ArduinoJson.h` призначена для створення та обробки структур `JSON`, які використовуються для передачі даних на сервер, що значно спрощує інтеграцію з веб-інтерфейсами [29].

```
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WebSocketsClient.h>
#include <ArduinoJson.h>
```

Рис. 3.7 Підключення бібліотек

Наступним етапом у кодї визначаються параметри підключення до мережі `Wi-Fi` та створюється об'єкт `WebSocket`, призначений для роботи з `WebSocket`-клієнтом (рис 3.8). Зокрема, задаються ім'я бездротової мережі та пароль, що дозволяє контролеру здійснити підключення до локальної мережі.

Наступний крок у кодї - це встановлення параметрів `Wi-Fi` з'єднання та створення об'єкта `WebSocket` для роботи з клієнтом `WebSocket`. Зокрема, він встановлює назву бездротової мережі та пароль, що дозволяє контролеру підключатися до локальної мережі [29].

```
const char* ssid = "Chubenko.net";
const char* password = "Peremoga2025";

WebSocketsClient websocket;

#define VIBRATION_PIN D2
#define SOUND_PIN A0
```

Рис. 3.8 Налаштування `Wi-Fi` та `WebSocket`

Функція `setup()` виконує початкову настройку контролера (рис. 3.9). Насамперед, налаштовується послідовний порт з швидкістю передачі даних `115200`

бод, що дозволяє виводити інформацію на екран порту для налагодження та спостереження за роботою пристрою. Потім вивід датчика вібрації налаштовується як цифровий вхід із внутрішнім підтяжним резистором. Далі, за допомогою функції `WiFi.begin()` створюється з'єднання по Wi-Fi, потім код очікує підключення і регулярно виводить стан на монітор послідовного порту. Після успішного з'єднання ініціалізується `WebSocket`, встановлюється адреса сервера, порт та шлях до кінцевої точки, а також визначається обробник подій, який реагує на різні стани з'єднання. Для забезпечення стабільності зв'язку передбачено автоматичне перепідключення кожні дві секунди у разі втрати з'єднання [29].

```
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(VIBRATION_PIN, INPUT_PULLUP);

  WiFi.begin(ssid, password);
  Serial.print("Connecting to WiFi");
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) { delay(500); Serial.print("."); }
  Serial.println("\nConnected!");

  websocket.begin("192.168.1.36", 1880, "/ws/data");
  websocket.onEvent([](WStype_t type, uint8_t * payload, size_t length) {
    Serial.print("WebSocket event type: "); Serial.println(type);
  });
  websocket.setReconnectInterval(2000);
}
```

Рис. 3.9 Функція `setup()`

Основна робота контролера відбувається в функції `loop()`, яка постійно виконується (рис. 3.10). У кожному циклі спочатку викликається функція `websocket.loop()`, яка забезпечує підтримку з'єднання через `WebSocket` та обробляє події та повідомлення від сервера. Наступною стадією є зчитування даних з датчиків: цифровий сигнал від датчика вібрації зберігається в змінній `vibration`, а аналоговий сигнал від мікрофона — в змінній `soundValue`. Щоб зробити дані більш реалістичними, до аналогового сигналу додається малий випадковий шум, а потім

значення обмежується діапазоном від 0 до 1023, щоб уникнути переповнення. Зчитані значення виводяться через послідовний порт, що дозволяє отримувати інформацію про стан датчиків в режимі реального часу [29].

```
void loop() {
    websocket.loop();

    int vibration = digitalRead(VIBRATION_PIN);
    int soundValue = analogRead(SOUND_PIN);
    soundValue += random(-20,20);
    soundValue = constrain(soundValue, 0, 1023);

    Serial.print("Vibration = "); Serial.print(vibration);
    Serial.print("    Sound = "); Serial.println(soundValue);

    StaticJsonDocument<200> doc;
    doc["vibration"] = vibration;
    doc["sound"] = soundValue;

    String json;
    serializeJson(doc, json);
    websocket.sendTXT(json);

    delay(300);
}
```

Рис. 3.10 Головний цикл loop()

Після обробки даних вони зберігаються у формі JSON-структури за допомогою бібліотеки ArduinoJson. До документа додаються поля, які відображають вібрації та звуки, а саме фактичні значення датчиків. Після цього структура перетворюється в рядок і передається на сервер через WebSocket. Цикл завершується паузою тривастю 300 мілісекунд, що визначає частоту оновлення даних і забезпечує стабільність роботи роботизованої системи.

Отже, реалізований код забезпечує повну взаємодію контролера ESP8266 з датчиками вібрації та звуку. Він ефективно збирає та обробляє дані, форматує їх у

структурований вигляд і передає на сервер через WebSocket у режимі реального часу. Також застосовується додаткова обробка, наприклад, додавання випадкового шуму та порогових значень, що дозволяє отримувати більш реалістичні дані, що легко інтегруються у веб-інтерфейси для моніторингу та візуалізації, як, наприклад, Node-RED.

3.2 Інтеграція з хмарними сервісами для зберігання даних

У сучасних системах Інтернету речей (IoT) дані, які надсилають датчики, дуже важливі для того, щоб контролювати стан навколишнього середовища, технічних пристроїв і різних об'єктів інфраструктури. Оскільки датчики часто надсилають дані, під'єднано багато пристроїв і вони різні за типом, то виникає великий об'єм інформації. Щоб зберігати та обробляти таку інформацію ефективно, краще використовувати централізоване зберігання даних у хмарі. Це забезпечує надійність, доступність і здатність системи масштабуватися.

Використання хмарних платформ для зберігання даних датчиків має багато важливих переваг. По-перше, централізоване сховище дозволяє зібрати інформацію з різних джерел в одне місце, що здатне полегшити обробку та аналіз даних. По-друге, хмарні сервіси дають можливість отримувати доступ до даних з будь-якої точки планети, що особливо корисно для систем, які потребують віддаленого керування та моніторингу. По-третє, хмарні рішення дозволяють легко розширювати систему, коли збільшується кількість датчиків або обсяг даних, без потрібної серйозної зміни структури. Крім того, сучасні хмарні платформи мають вбудовані інструменти для аналізу та зображення даних, що дозволяє створювати звіти, виявляти тенденції та аномалії на основі отриманих даних [30].

Типовим прикладом системи Інтернету речей є кластер моніторингу навколишнього середовища, в якому вбудовані датчики вимірюють рівень шуму, вібрації, температуру та інші параметри в режимі реального часу. Інформація, отримана з цих пристроїв, зберігається в хмарній базі даних, де проходить перша обробка та зливається для подальшого аналізу. Користувачі можуть за допомогою

веб-інтерфейсу або мобільного додатку дистанційно відстежувати показники, отримувати повідомлення про стан об'єкта та оперативно реагувати на можливі проблеми. Такий метод дозволяє ефективно керувати ресурсами, підвищувати рівень безпеки, точність прийняття рішень, а також створює основу для розробки прогнозних моделей та інтелектуальних аналітичних систем у середовищі Інтернету речей.

Для ефективного збору, обробки та зберігання даних у системі Інтернету речей важливим моментом є вибір відповідної хмарної платформи, яка забезпечує стабільну інтеграцію датчиків та можливості аналізу. У цьому проекті в якості основного інструменту для створення хмарної платформи було обрано Node-RED (рис. 3.11), оскільки ця система поєднує простоту використання з широким набором функцій, необхідних для реалізації потоків обробки даних у режимі реального часу. Node-RED дозволяє швидко підключати датчики та інші пристрої Інтернету речей, підтримує популярні протоколи зв'язку, такі як MQTT, HTTP/REST та WebSocket, а також має готові елементи для обробки, фільтрації, агрегації та візуалізації інформації. Беручи це до уваги, створення потоків даних від датчика до бази даних та користувацького інтерфейсу значно спрощується, а кількість часу, витраченого на написання коду з нуля, зменшується.

Під час вибору також вивчали інші хмарні платформи, такі як Firebase, AWS IoT та Thingsboard. Firebase має зручні бази даних в режимі реального часу, але він має обмеження у підтримці промислових протоколів IoT та вимагає додаткового програмування для з'єднання різних датчиків [30].

AWS IoT забезпечує високу надійність та можливість масштабування, але для його використання потрібні глибокі знання хмарної інфраструктури та додаткове налаштування сервісів.

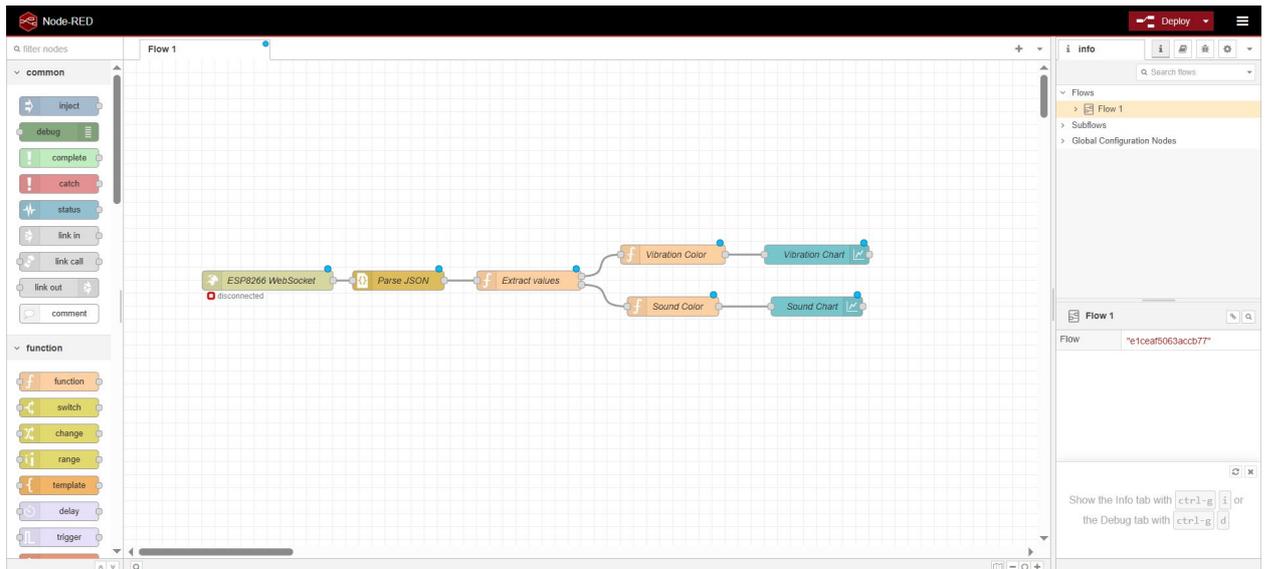


Рис. 3.11 Інтерфейс Node-RED

Thingsboard дозволяє швидко створювати візуальні панелі та обробляти дані, але має обмеження в можливостях налаштування логіки та інтеграції з нестандартними пристроями. В порівнянні з іншими варіантами Node-RED виокремлюється балансом між простотою встановлення, широкими можливостями інтеграції та гнучкістю у обробці даних, що робить його найкращим вибором для цього IoT-проекту.

Якщо говорити про хостинг Node-RED, то система може бути реалізована як на власному віртуальному приватному сервері (VPS), так і на хмарному сервері, який надається платформами AWS, Azure або Google Cloud, або ж за допомогою Node-RED Cloud або IBM Cloud PaaS, де серверне середовище та налаштування хмарної інфраструктури забезпечує постачальник послуг. Хостинг на власному VPS дозволяє отримати повний контроль над сервером та базами даних, налаштувати безпеку та масштабованість згідно з потребами системи, тоді як використання хмарного PaaS зменшує час адміністрування та дозволяє швидко розгорнути готове рішення з мінімальним налаштуванням. Обидва підходи забезпечують доступ до платформи через веб-інтерфейс, що дозволяє віддалено керувати даними датчиків та керувати потоками обробки інформації.

Таким чином, вибір Node-RED як хмарної платформи для цього проекту обґрунтований її гнучкістю, зручністю для інтеграції датчиків, підтримкою різних протоколів передачі даних, наявністю готових вузлів для обробки та візуалізації інформації, а також можливістю використання як на власних серверах, так і у вигляді хмарного сервісу. Це дозволяє ефективно організувати збір, обробку та зберігання даних у режимі реального часу та створює основу для подальшого аналізу та прийняття рішень на основі отриманих показників [31].

Один із основних компонентів систем IoT - це ефективний спосіб отримання та передачі даних від датчиків до центрального сервісу обробки і зберігання. У цьому проекті для виконання цієї функції використовується платформа Node-RED, яка підтримує кілька протоколів обміну даними, таких як MQTT, HTTP/REST і WebSocket. Кожен з цих протоколів має свої особливості, але особливо високу увагу звертають до WebSocket, оскільки він дозволяє здійснювати двосторонню комунікацію в режимі реального часу, що дуже важливе для систем, в яких швидкість передачі даних від датчиків впливає на ефективність моніторингу та прийняття рішень.

Протокол WebSocket забезпечує постійне з'єднання через TCP між датчиком і сервером Node-RED, відмінно від звичайного HTTP, де кожен запит створює новий сеанс. Такий підхід дозволяє швидко надсилати дані з датчиків на платформу та отримувати команди від сервера без затримок, що особливо важливо для оперативного реагування на важливі події. Node-RED має спеціальні елементи для роботи з повідомленнями WebSocket, які дозволяють отримувати дані, перетворювати їх у потрібний формат і передавати до внутрішніх потоків або баз даних [32].

Дані, отримані через WebSocket, проходять кілька етапів обробки в Node-RED. На першому етапі виконується фільтрація, яка дозволяє відкидати неправильні або зашумлені значення, наприклад, випадкові сплески вібрації або шум, які не відображають справжній стан об'єкта. Далі застосовується агрегація, коли дані групуються за певними часовими проміжками або категоріями датчиків, щоб спростити подальший аналіз. Останнім етапом є перетворення формату, яке

забезпечує згодність даних з обраними базами даних (InfluxDB або PostgreSQL) та їх готовність до відображення на панелі керування або обробки через REST API.

Схематично механізм передачі даних можна представити у вигляді наступного потоку (рис. 3.12).

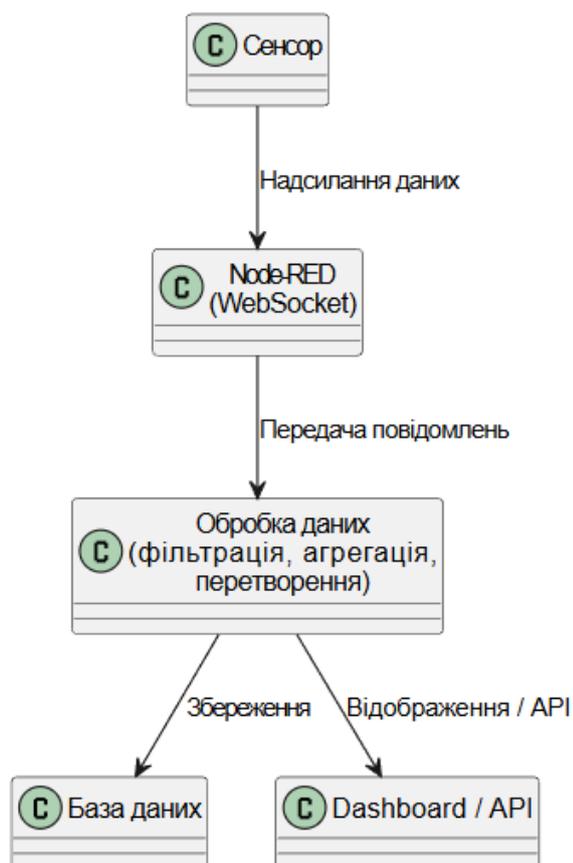


Рис. 3.12 Механізм передавання даних

Цей підхід забезпечує неперервний і надійний обмін даними, зменшує затримки між процесом вимірювання та отриманням інформації, а також дозволяє швидко масштабувати систему, коли збільшується кількість підключених датчиків. Комбінування WebSocket з можливостями Node-RED забезпечує високу ефективність системи Інтернету речей у режимі реального часу, що є важливим для відстеження ключових параметрів та прийняття оперативних управлінських рішень.

Візуалізація та аналіз даних є важливим елементом будь-якої системи Інтернету речей, оскільки вони не тільки дозволяють отримувати інформацію, але й перетворювати її на корисні дані для прийняття рішень. Платформа Node-RED має потужний інструмент для створення інформаційної панелі, яка дозволяє відображати показники датчиків у режимі реального часу. Дякуючи графічному інтерфейсу, користувачі можуть відстежувати зміни параметрів, таких як рівень шуму, інтенсивність вібрації або інші фізичні величини, та швидко реагувати на критичні події або аномалії. Інформаційна панель Node-RED дозволяє відображати дані у різних форматах – графіках, гістограмах, індикаторах та таблицях, що забезпечує ефективний аналіз без зовнішніх інструментів [32].

Інтеграція Node-RED з платформою Grafana дозволяє проводити більш складну аналітику та глибше статистичне моделювання, щоб створювати розширений графік і панелі управління. У цьому можна відслідковувати історичні тенденції, порівнювати показники з бенчмарками та робити прогнози. Grafana може працювати з базами даних, що зберігають часові ряди, наприклад, InfluxDB, що забезпечує швидку роботу при обробці великих обсягів даних. Це дає можливість аналізувати не тільки окремі датчики, але й усю систему в цілому, щоб виявити закономірності та потенційні проблеми [32].

У рамках цього проекту планується візуалізація таких основних показників: середній рівень шуму, що дозволяє оцінити загальний акустичний стан об'єкта; піки вібрації, які можуть вказувати на аномальні процеси або несправності обладнання; а також історія отриманих даних, яка дає змогу відстежувати зміни в показниках через час, аналізувати тенденції та робити прогнози на основі зібраних даних. Такий підхід забезпечує повне розуміння отриманої інформації та дозволяє інтегрувати систему моніторингу в процес прийняття рішень, що підвищує ефективність управління об'єктом та дозволяє оперативно реагувати на будь-які відхилення від нормального стану.

3.3 Реалізація візуалізації даних через веб-інтерфейс

Візуалізація даних є важливим компонентом сучасних систем Інтернету речей (IoT), оскільки дозволяє ефективно керувати показниками, які надходять від сенсорів у режимі реального часу. У розглядуваній системі, до якої приєднані вібраційні датчики SW-420 та звуковий датчик VMA309, веб-інтерфейс дозволяє безпосередньо моніторити поточні значення параметрів навколишнього середовища. Такий підхід не лише дозволяє швидко реагувати на зміни умов, але й підвищує надійність збору даних, постійно перевіряючи їхню актуальність. Крім того, реалізація історичної візуалізації дозволяє зберігати та відображати накопичені дані, що відкриває можливості для подальшого аналізу, виявлення тенденцій та прогнозування роботи системи. Важливим аспектом є збільшення загальної інформаційної потужності системи IoT, оскільки графічне представлення даних сприяє швидкому розумінню та аналізу отриманих результатів, особливо для користувачів, які не мають глибоких технічних знань. Нарешті, веб-інтерфейс забезпечує високий рівень зручності, оскільки доступ до інформації можливий з будь-якого пристрою, що має браузер та мережеве підключення, що робить процес моніторингу простим та інтуїтивно зрозумілим. Таким чином, візуалізація даних у режимі реального часу та за попередні періоди є ключовим елементом роботи системи, що значно підвищує ефективність її функціонування та аналітичні можливості користувачів.

Вибір платформи для створення веб-інтерфейсу є важливим етапом при розробці системи моніторингу даних з Інтернету речей, оскільки це визначає зручність у користуванні, швидкість впровадження та можливості налаштування. Для цього дослідження було обрано Node-RED Dashboard, яка дозволяє швидко та ефективно розробляти користувацькі інтерфейси без використання традиційних технологій веб-програмування, таких як HTML, CSS або JavaScript. Основною перевагою цієї платформи є простий інтуїтивний метод створення інтерфейсів шляхом перетягування елементів, що дозволяє організувати потоки даних і елементи візуалізації без необхідності написання коду вручну. Node-RED Dashboard

повністю підтримує популярні протоколи передачі даних в Інтернеті речей, такі як MQTT, WebSocket і HTTP, що забезпечує надійну інтеграцію з мікроконтролером ESP8266 та іншими сенсорними пристроями. Платформа також надає широкий вибір готових елементів інтерфейсу, включаючи:

- `ui_gauge` для відображення поточних значень у вигляді індикаторів,
- `ui_chart` для побудови графіків у реальному часі,
- `ui_text` для відображення текстової інформації, а також
- `ui_switch`, `ui_button` і `ui_slider` для керування системою, якщо це

необхідно.

Однією з переваг Node-RED є можливість використання платформи як у локальній мережі, так і через хмарні сервіси, що забезпечує гнучкість у використанні та доступ до даних із будь-якого пристрою з веб-браузером. Таким чином, Node-RED Dashboard було обрано як оптимальне рішення для швидкого створення веб-інтерфейсу та інтеграції з мікроконтролером ESP8266, що дозволяє поєднати простоту розробки, надійну передачу даних та високоякісну візуалізацію інформації [33].

Архітектура взаємодії між мікроконтролером NodeMCU (ESP8266) та веб-інтерфейсом, реалізованим у Node-RED Dashboard, побудована таким чином, щоб забезпечити ефективну передачу, обробку та візуалізацію даних у реальному часі. ESP8266 виступає джерелом даних, збираючи інформацію з підключених сенсорів, таких як датчик вібрації SW-420 та звуковий сенсор VMA309, і передає її на платформу Node-RED. Передача може здійснюватися за допомогою протоколів HTTP, MQTT або WebSocket залежно від налаштувань системи та вимог до швидкості обміну даними.

У Node-RED дані надходять через відповідні вхідні вузли, наприклад, `mqtt in`, `websocket in` або `http in`, після чого вони проходять обробку в функціональних вузлах (`function`). На цьому етапі дані можуть нормалізуватися, фільтруватися або перетворюватися у зручний для візуалізації формат. Після обробки результати передаються на вузли Node-RED Dashboard, такі як `ui_gauge`, `ui_chart`, `ui_text`, які

забезпечують графічне відображення показників сенсорів у вигляді індикаторів, графіків та текстових значень.

Такий підхід дозволяє реалізувати гнучку, масштабовану та інтуїтивно зрозумілу систему візуалізації, де кожен компонент виконує чітко визначену функцію: ESP8266 відповідає за збір і передачу даних, Node-RED за їх обробку та маршрутизацію, а Node-RED Dashboard — за наочне відображення результатів [33].

Нижче наведено схематичне відображення архітектури взаємодії (рис. 3.13).

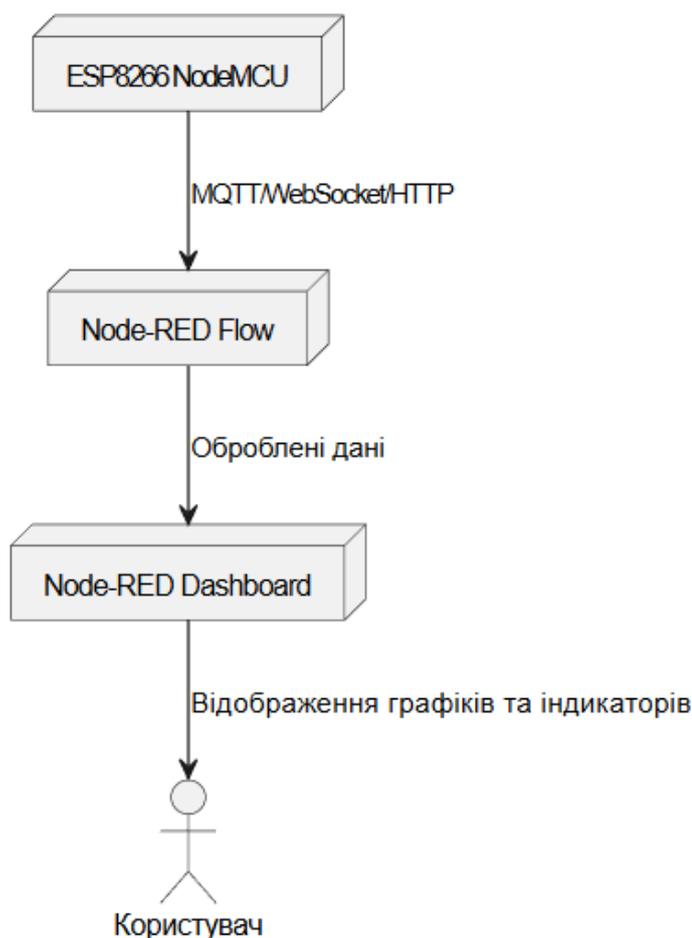


Рис. 3.13 Схематичне відображення архітектури взаємодії

На цій діаграмі добре видно, як проходить процес передачі даних: починається зі збору інформації датчиками, потім ця інформація передається мікроконтролером, далі обробляється в Node-RED, а потім візуалізується в web-інтерфейсі для користувача.

Налаштування панелі керування Node-RED для візуалізації даних від датчиків є важливим етапом при створенні веб-інтерфейсу, який дозволяє візуально відображати показники вібрації та звуку в режимі реального часу. У цьому випадку використовується структура потоку Node-RED, яка містить вузли для отримання, обробки та відображення даних у елементах панелі керування, наприклад, у діаграмах (ui_chart). Ось детальний опис коду та його функціональних частин [33].

Підключення ESP8266 до Node-RED зображено на рис. 3.14.

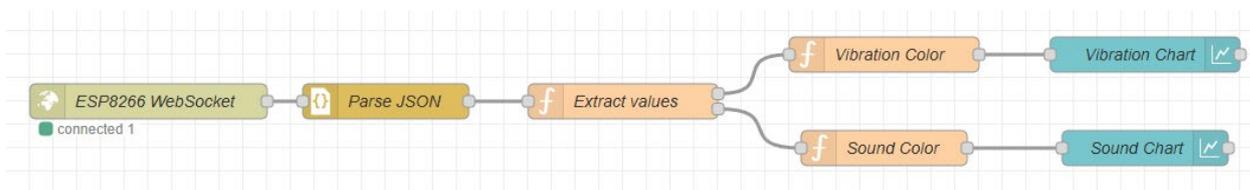


Рис. 3.14 ESP8266 підключення до Node-RED

Ключові фрагменти коду та їх функції:

Вхідний вузол WebSocket (ws_in)

- Використовується для отримання даних від пристрою ESP8266 через протокол WebSocket.
- Підключається до шляху /ws/data, а потім передає отриманий рядок у вигляді JSON для подальшого аналізу.

JSON-парсер (json_parse)

- Перетворює отриманий текст у структуру JSON для подальшої обробки.
- Відокремлює значення вібрації та звукових сигналів, щоб їх було легше аналізувати.

Функція extract_values

- Підготування окремих значень вібрації та звуку з JSON-повідомлення.
- Перетворює їх у числа, а у разі помилки — встановлює значення 0.
-

Функції відображення вібрації та звуку

- Підготовка даних для відображення на графіках: встановлення базової лінії та відображення індикаторів, якщо значення перевищують встановлений поріг.
- Для вібрації індикатор з'являється лише у разі, коли датчик увімкнено (значення 1), а для звуку — тільки при значеннях вище 200.

Графіки (ui_chart)

- Графік вібрації: лінійна діаграма, яка показує стан вібраційного датчика в діапазоні від 0 до 1, з інтерполяцією кроками.
- Графік звуку: лінійна діаграма, яка відображає звукові сигнали в діапазоні від 0 до 1023, з лінійною інтерполяцією.
- Обидва графіки зберігають останні 60 значень, щоб можна було відстежувати зміни у режимі реального часу.

Група та вкладка «Панель інструментів» (ui_group та ui_tab)

- Вкладка «Моніторинг»: головна вкладка «Панель інструментів».
- Група «Сенсори»: згруповані елементи, що включають діаграми та інші графічні елементи, щоб швидко і зручно відображати динаміку даних датчиків.

Отже, налаштування панелі керування забезпечує повний процес роботи: від прийому даних із ESP8266, їх обробки та підготовки до візуалізації, до відображення у вигляді інтерактивних графіків у режимі реального часу. Кожен етап процесу виконує свою чітко визначену функцію, що забезпечує надійність та зручність у моніторингу вібраційних та звукових індикаторів.

Веб-інтерфейс Node-RED Dashboard має специфіку, яка полягає в здатності точно та вчасно відображати дані датчиків у режимі реального часу. У запропонованій системі частота оновлення даних налаштована таким чином, щоб забезпечити миттєве відображення змін стану датчиків SW-420 та VMA309, одночасно уникаючи надмірного навантаження на мережу та вузли обробки Node-RED. У разі помилок передачі або тимчасової втрати зв'язку між ESP8266 та платформою Node-RED, дані обробляються таким чином, щоб уникнути неправильного відображення на графіках: старі значення залишаються на місці, а порожні або некоректні повідомлення ігноруються. Графіки, у свою чергу,

відображають останні доступні значення, що дозволяє користувачеві оцінювати динаміку показників навіть у періоди тимчасових збоїв [33].

Приклад візуалізації даних через веб-інтерфейс Node-RED Dashboard (рис. 3.15).

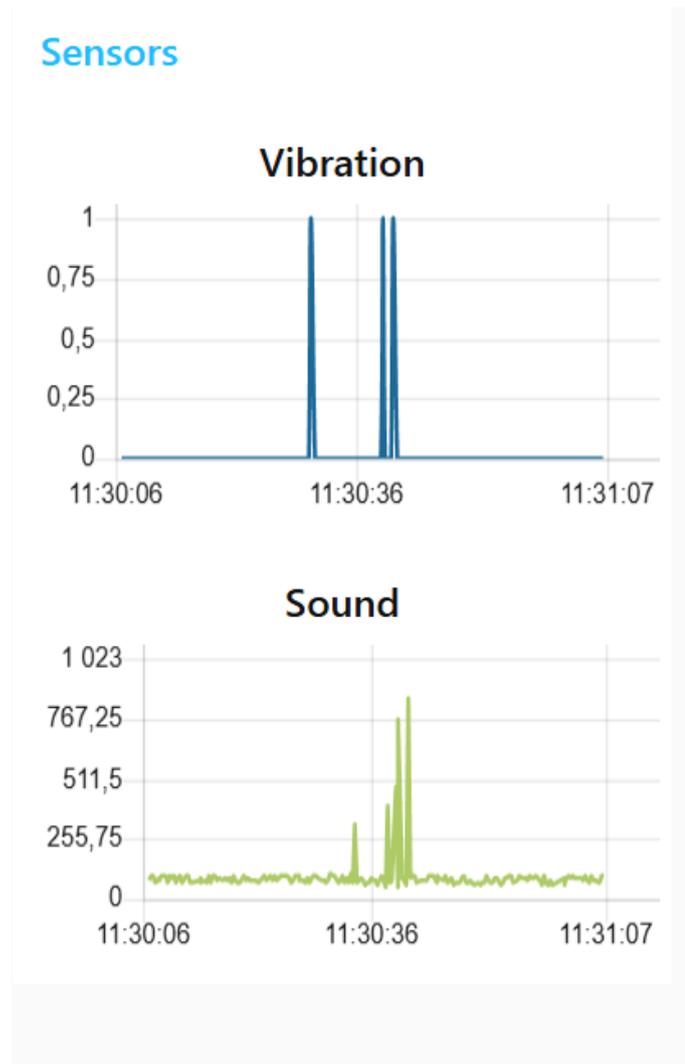


Рис. 3.15 Приклад візуалізації даних

Тести панелі керування включали перевірку стабільності з'єднання ESP8266 з Node-RED, правильності передачі та обробки тестових даних, а також спостереження за поведінкою графіків під час перезапуску системи. Після відновлення з'єднання було підтверджено, що графіки автоматично оновлюються, а історичні дані зберігаються частково згідно з налаштуваннями вузлів `ui_chart`. Ці експерименти допомогли перевірити стабільність відображення даних та надійність веб-інтерфейсу, навіть у разі тимчасових переривань сигналу.

Переваги створеної візуалізації полягають у високій зручності моніторингу показників датчиків у режимі реального часу, що дозволяє користувачу швидко приймати рішення. Node-RED Dashboard показує, як легко можна інтегрувати цю систему з різними протоколами передачі даних, що дає можливість масштабувати систему та додавати нові сенсорні модулі без великих змін у налаштуваннях. Крім того, платформа має гнучкі інструменти для розширення інтерфейсу, які включають графіки, індикатори, текстові поля та елементи керування, що робить її прийнятною для використання у реальних системах Інтернету речей. В цілому, реалізований веб-інтерфейс забезпечує надійне, зрозуміле та ефективне відображення даних, що підвищує функціональність та аналітичні можливості системи.

ВИСНОВКИ

Результати дослідження дозволяють зробити загальний висновок, який охоплює як теоретичні, так і практичні сторони створення автоматизованої системи моніторингу навколишнього середовища, спрямованої на Інтернет речей, з метою контролю шумового та вібраційного забруднення у міському середовищі.

Аналіз сучасного стану моніторингу довкілля показав, що він відіграє важливу роль у забезпеченні екологічної безпеки, стійкого розвитку територій та покращенні якості життя населення. Встановлено, що традиційні методи вимірювання параметрів довкілля, хоча і мають велику історичну та нормативну вагу, не завжди відповідають сучасним вимогам щодо ефективності, безперервності та масштабованості. Їхній фрагментарний підхід, висока трудомісткість та залежність від ручних вимірювань значно ускладнюють своєчасне виявлення негативних змін та прийняття управлінських рішень на основі достовірних даних. У цьому контексті використання технологій Інтернету речей вважається логічним і перспективним етапом розвитку систем моніторингу довкілля. Використання методів Інтернету речей забезпечує зовсім новий рівень збору та обробки екологічних даних, розвиваючи розподілені мережі інтелектуальних датчиків, які можуть працювати в режимі реального часу. Цей підхід дозволяє збільшити точність вимірювань у просторовому та часовому аспектах, знизити витрати на експлуатацію та створити умови для переходу від пасивного до активного управління екологічними ризиками. Це особливо важливо для розумних міст, де рівень впливу людини, транспортної активності та шуму залишається високим і потребує постійного моніторингу.

Під час роботи було зафіксовано, що шум і вібрації є ключовими параметрами, які відображають екологічну ситуацію в міському середовищі. Вони безпосередньо впливають на здоров'я людей, стан будівельної інфраструктури та загальний рівень комфортності життя. Тому вибір правильних датчиків для вимірювання цих величин є важливим етапом у створенні ефективної системи. Сучасний аналіз акустичних та вібраційних датчиків показує, що для використання

в Інтернеті речей підходять компактні, енергоефективні та легкі в інтеграції пристрої, навіть якщо вони мають менш високі метрологічні характеристики порівняно з промисловими аналогами.

У розробленій системі використано платформу мікроконтролера NodeMCU V3 ESP8266, яка має достатню потужність для обчислень, вбудований модуль Wi-Fi та широку підтримку програмних бібліотек. Це дозволило здійснити повний цикл роботи пристрою Інтернету речей — від збирання даних до бездротової передачі та інтеграції з серверною частиною. Для виявлення впливу вібрації використано датчик SW-420, який, хоча не забезпечує кількісного вимірювання параметрів, ефективно виконує функцію виявлення механічних коливань, і підходить для завдань попереднього моніторингу та сигналізації. Для реєстрації акустичних коливань застосовано звуковий датчик VMA309, який дозволяє аналізувати зміну інтенсивності звуку з часом та фіксувати перевищення заданих порогових значень.

Розробка програмного забезпечення стала найважливішим етапом реалізації системи. Використання середовища Arduino IDE значно спростило процес написання, налагодження та зміни коду, а також забезпечило гарну сумісність з платформою ESP8266. Програмна частина забезпечила стабільне підключення до мережі Wi-Fi, регулярне зчитування даних з датчиків, початкову їх обробку та передачу у вигляді JSON. Застосування протоколу WebSocket дозволило організувати постійний двосторонній обмін даними з мінімальними затримками, що є важливим параметром для систем реального часу. Інтеграція пристрою з платформою Node-RED дала змогу створити гнучку та масштабовану серверну частину системи. Node-RED виявився ефективним інструментом для побудови потоків обробки, фільтрації та агрегації даних, отриманих від датчиків, а також для швидкого створення рішень для IoT. Реалізований веб-інтерфейс, побудований на основі Node-RED Dashboard, забезпечує чітку візуалізацію поточних та зберігання даних у вигляді графіків і індикаторів, що значно зручніше для моніторингу та аналізу отриманих результатів. Проведені тестування підтвердили стабільність

роботи системи, правильне відображення інформації та здатність системи відновлювати роботу після тимчасових порушень зв'язку.

Підсумовуючи результати роботи, можна висловити думку, що розроблена автоматизована система моніторингу шуму та вібрації, спрямована на Інтернет речей, є функціонально інтегрованою та операційною системою, призначеною для освітніх і дослідницьких задач, створення прототипів та подальшого розвитку. Вибраний апаратний і програмний обладнання забезпечують найкращий баланс між вартістю, простотою впровадження та функціональними можливостями. Запропонований метод може бути подальше розширити шляхом використання більш точних датчиків, інтеграції з аналітичними та прогностичними платформами, а також використання хмарних сервісів для довгострокового зберігання та дослідження отриманих даних.

Отже, отримані дані підтверджують користь використання технологій IoT у системах спостереження за навколишнє середовище, а також їхні можливості у роботі над ідеєю «розумного міста». Встановлена система стає основою для зростання екологічної культури, підтримки сталого розвитку та створення безпечного та зручного середовища для життя людини, при цьому відкриває широкі шляхи для подальших наукових і практичних досліджень у цій сфері.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розумні міста: як сучасні технології допомагають у міському плануванні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.arthuss.com.ua/books-blog/rozumni-mista-yak-suchasni-tekhnohohiyi-dopomahayut-u-miskomu-planuvanni>.
2. AI and Human-Centric Approach in Smart Cities Management: Case Studies from Silesian and Lesser Poland Voivodships [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/18/8279>.
3. Everything you need to know about IoT Environmental Monitoring [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://loriot.io/blog/environmental-monitoring-01.html>.
4. 5 Types Of Environmental Monitoring [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://atlas-scientific.com/blog/types-of-environmental-monitoring/>.
5. Our Guide to Environmental Monitoring [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://greenly.earth/en-us/blog/company-guide/our-guide-to-environmental-monitoring>.
6. Smart city: розумні технології сучасного міста [Електронний ресурс] / Київстар. – Режим доступу: <https://hub.kyivstar.ua/articles/smart-city-rozumni-tehnologiyi-suchasnogo-mista>.
7. Acevedo, Miguel F. *Real-Time Environmental Monitoring: Sensors and Systems* : монографія. – London : Routledge, 2024. – 424 с. – ISBN 9781032545714
8. Chen, Ling-Jyh, et al. *Development and implementation of EcoDecibel: A low-cost and IoT-based device for noise measurement // Ecological Informatics*. – 2025. – V.85
9. Bello, Juan P., et al. *SONYC: A System for the Monitoring, Analysis and Mitigation of Urban Noise Pollution //* [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1805.00889>
10. Mydlarz, Charlie, et al. *The life of a New York City noise sensor network //* [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1903.03195>

11. Alsouda, Yasser, et al. *A Machine Learning Driven IoT Solution for Noise Classification in Smart Cities* // [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/1809.00238>
12. Mylonas, Georgios, et al. *A Study on Indoor Noise Levels in a Set of School Buildings in Greece utilizing an IoT infrastructure* // [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2309.02797>
13. Manthina, Bhima S., et al. *IoT-based Noise Monitoring using Mobile Nodes for Smart Cities* // [Електронний ресурс]. – 2025. – Режим доступу: <https://arxiv.org/abs/2509.00979>
14. Design of an IoT-based System for Monitoring Noise Levels in the ... / *Sensors*. – 2023. – 23(22):9083 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3390/s23229083>
15. Borate, T., et al. *IoT Based Air and Sound Pollution Monitoring System* // *Open Access Journal of Science and Engineering*. – 2019.
16. Kaushik Vipul R., et al. *IOT based air and sound pollution monitoring system – a review* // *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. – 2019.
17. Deshmukh, S., et al. *Air and Sound Pollution Monitoring System using IoT* // *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. – 2017.
18. Badruddin, M.B., et al. *IoT based noise monitoring system (NOMOS)* // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2020.
19. Fernandez-Prieto, J.A., et al. *Wireless acoustic sensor nodes for noise monitoring...* // *Sensors*. – 2020.
20. Laxmi, V., et al. *Urban noise monitoring using cycle in Nagpur, India* // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2019.
21. *Аналізатор спектральних складових рівня шуму в приміщенні* : навч. дослідж. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019.
22. Verna UA. *Контроль забруднення та рівня шуму* [Електронний ресурс] : Інтернет-портал. – 2025. – Режим доступу: <https://www.verna.ua/smart-city/iot-control-air-pollution-noise-level>

23. *Акредитація моніторингу та контролю шумового забруднення* [Електронний ресурс] : Інтернет-портал. – 2022. – Режим доступу: <https://www.accredit.org.uk/blog/environment/noise-pollution-monitoring-and-control-accreditation/>
24. *Рекомендації ВООЗ щодо шуму в навколишньому середовищі* [Електронний ресурс] : BetterTone.com. – 2018. – Режим доступу: <https://bettertone.com.ua.uk/novi-rekomentatsiyi-vooz/amp/>
25. ДСТУ EN ISO 6385:2005. *Основоположні принципи ергономіки...* – Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
26. Андрійчук Н.І. *Охорона праці : навч. посіб.* – Львів : Видавництво Львівська політехніка, 2021.
27. *IOT based Environmental Pollution Monitoring System* – монографія. – 2020. – Amazon Publishing.
28. Haji, Saad H. & Sallow, Amira B. *IoT for Smart Environment Monitoring Based on Python: A Review // Asian Journal of Research in Computer Science.* – 2021.
29. *Sensors for Environment Monitoring / Patole, Shashikant, et al.* – Engineered Science Publisher, 2023.
30. *Noise and Vibration Monitoring: Compliance, Technology, and Environmental Impact* [Електронний ресурс] : Envirotech Online. – 2025. – Режим доступу: <https://www.envirotech-online.com/article/air-monitoring/6/kp-acoustics/noise-and-vibration-monitoring-compliance-technology-and-environmental-impact/3673>
31. Havran, V. & Orynychak, M. *AI/ML integration into noise pollution monitoring systems... // Computer Systems of Design. Theory and Practice.* – Lviv : Lviv Politechnic Publishing House, 2024.
32. ISO 9241-5:2005. *Ергономічні вимоги до робочих місць...* – Київ : Держспоживстандарт України, 2006.
33. ДСТУ ISO 9241-5:2005. *Ергономічні вимоги до VDT* – Київ : Держспоживстандарт України, 2006.

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра Інформаційних систем та технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Автоматизована система для моніторингу стану довкілля на базі IoT-технологій.»

на здобуття освітнього ступеня магістра
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

Виконав: Роман М.Р., ІСДМ-61
Науковий керівник роботи:
к.е.н., доц. кафедри ІСТ
Соломаха С.А.

Київ - 2026

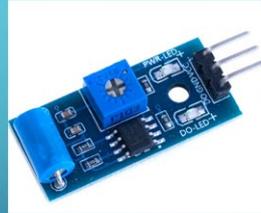
МЕТА, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ РОБОТИ

- *Метою роботи є створення та впровадження автоматизованої системи Інтернету речей, призначеної для моніторингу шумового забруднення та вібрацій навколишнього середовища, яка забезпечує безперервне збирання, обробку, збереження та візуальне зображення отриманих даних.*
- *Об'єкт дослідження – це процеси контролю стану навколишнього середовища у міських умовах.*
- *Предметом дослідження є методи, інструменти та програмно-апаратні рішення, призначені для створення автоматизованих систем IoT-моніторингу шумового забруднення та вібрації.*

СКЛАДОВІ ПРИСТРОЮ



NodeMCU V3 ESP8266



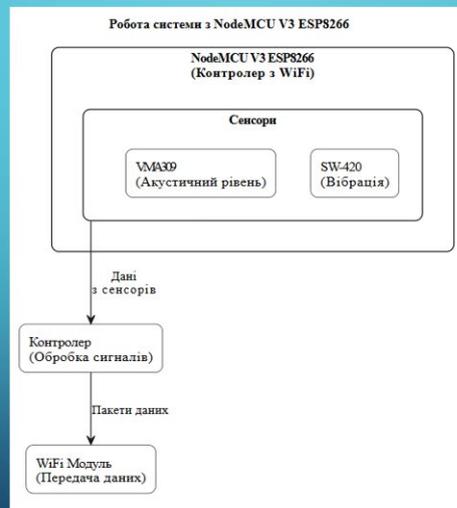
Датчик вібрації SW-420



Звуковий датчик VMA309

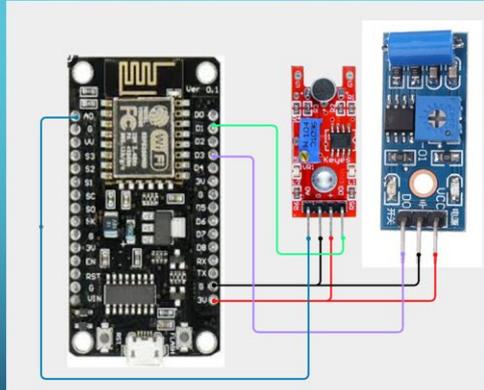
3

СТРУКТУРНА СХЕМА ВЗАЄМОДІЇ СЕНСОРІВ ТА КОНТРОЛЕРА



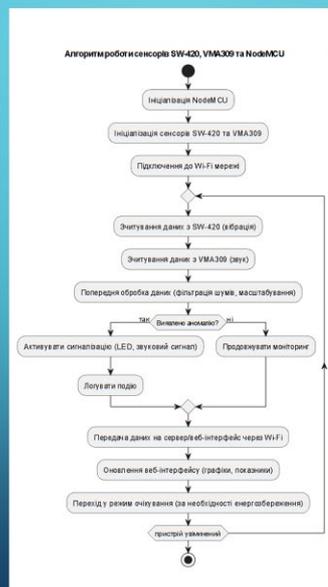
4

СХЕМА ПІДКЛЮЧЕННЯ КОНТРОЛЕРА ТА СЕНСОРІВ



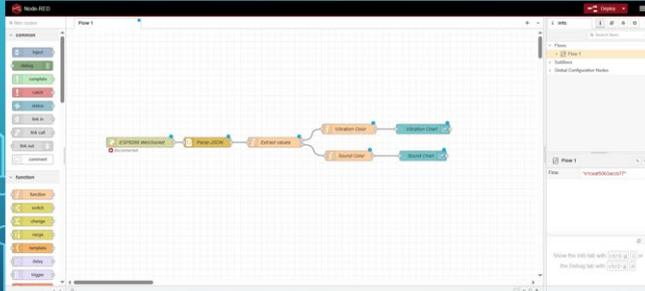
5

АЛГОРИТМ РОБОТИ ПРИСТРОЮ



6

ХМАРНА ПЛАТФОРМА NODE-RED

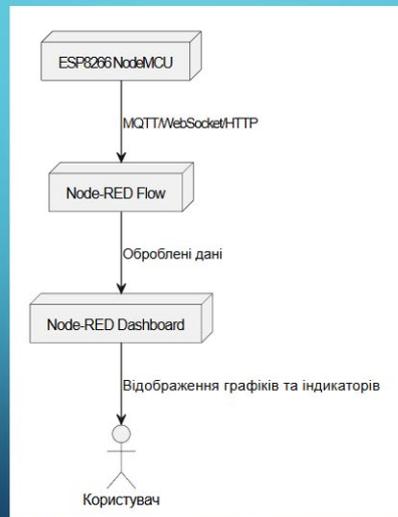


Інтерфейс Node-RED

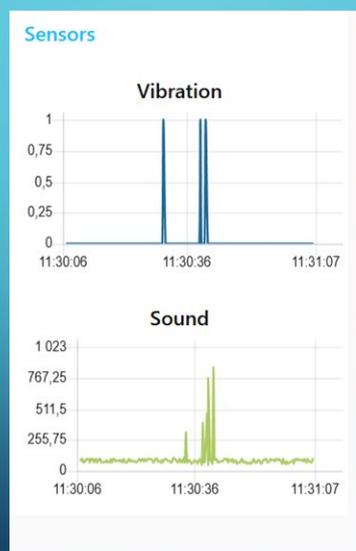


ESP8266 підключення до Node-RED

СХЕМАТИЧНЕ ВІДОБРАЖЕННЯ АРХІТЕКТУРИ ВЗАЄМОДІЇ МІЖ МІКРОКОНТРОЛЕРОМ NODEMCU (ESP8266) ТА ВЕБ-ІНТЕРФЕЙСОМ



ПРИКЛАД ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДАНИХ



9

ВИСНОВКИ

- У ході виконання дипломної роботи було комплексно досліджено сучасний стан систем моніторингу навколишнього середовища та обґрунтовано доцільність використання технологій Інтернету речей для контролю шумового та вібраційного забруднення у міському середовищі. Проаналізовано недоліки традиційних підходів до екологічного моніторингу та показано, що IoT-рішення забезпечують безперервність спостережень, оперативність отримання даних і можливість масштабування системи.
- У межах роботи розроблено та реалізовано прототип автоматизованої системи моніторингу на базі мікроконтролера [NodeMCU ESP8266](#) із використанням датчиків шуму та вібрації, програмного середовища [Arduino IDE](#), протоколу [WebSocket](#) і платформи [Node-RED](#). Створений веб-інтерфейс дозволяє в режимі реального часу візуалізувати результати вимірювань, що підвищує зручність аналізу та прийняття рішень.
- Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого підходу та демонструють перспективність впровадження IoT-систем для екологічного моніторингу в контексті концепції «розумного міста». Розроблена система може бути використана як навчальний і дослідницький інструмент, а також слугувати основою для подальшого розвитку, зокрема шляхом застосування більш точних датчиків, аналітичних та хмарних сервісів, що сприятиме підвищенню екологічної безпеки та якості життя населення.

10

АПРОБАЦІЯ

Подання тез

- 1. III всеукраїнська науково-технічна конференція «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу»

Тема: «Огляд сучасних IoT технологій для моніторингу стану довкілля у містах: можливості та виклики»

- 2. VIII Всеукраїнська науково-технічна конференція «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення»

Тема: «Архітектура IoT-системи для моніторингу екологічних параметрів»