

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Інформаційна система моніторингу та сповіщення на
основі технології LoRaWAN»

на здобуття освітнього ступеня бакалавра
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*

_____ Анастасія ІЛЬІНА

Виконав: здобувачка вищої освіти гр. ІСД-41
Анастасія ІЛЬІНА

Керівник: Каміла СТОРЧАК
науковий ступінь, вчене звання *доктор технічних наук, професор*

Рецензент:
науковий ступінь, вчене звання

Київ 2025

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій

Кафедра інформаційних систем та технологій

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 126 – Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інформаційних систем та технологій

Каміла СТОРЧАК

« » 2025 p.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Ільїна Анастасія Анатоліївна

1. Тема кваліфікаційної роботи: Інформаційна система моніторингу та сповіщення на основі технології LoRaWAN

керівник кваліфікаційної роботи Каміла СТОРЧАК, доктор технічних наук, професор

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

2. Строк подання кваліфікаційної роботи « » 2025 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Технічне завдання на проектування системи моніторингу; Проектна документація (книга 1, книга 2); Рішення Київської міської ради щодо впровадження LoRaWAN; Стандарти безпеки (ДСТУ, ISO, ПУЕ); Відкриті дані про екологічний стан м. Києва

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

1. Аналіз технологій бездротового зв'язку для побудови систем моніторингу
2. Оцінка екологічної ситуації в місті Києві
3. Розробка архітектури інформаційної системи на базі LoRaWAN
4. Вибір сенсорного обладнання, моделювання та обґрунтування структури системи
5. Оцінка техніко-економічних показників, безпеки та екологічних ризиків

5. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація

6. Дата видачі завдання « » 2025 р.

РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня бакалавра:
73 стор., 27 рис., 1 табл., 38 джерел.

Мета роботи – розробка концепції інформаційної системи екологічного моніторингу та сповіщення на базі технології LoRaWAN для застосування в межах міста Києва, що відповідає сучасним вимогам до безпеки, надійності та масштабованості.

Об'єкт дослідження – процес створення автоматизованого моніторингу стану довкілля міста Києва.

Предмет дослідження – архітектура, компоненти та функціонування інформаційної системи моніторингу та сповіщення, побудованої на основі бездротової технології LoRaWAN.

Короткий зміст роботи:

У роботі проаналізовано існуючі технології бездротового зв'язку, оцінено екологічну ситуацію в місті Києві, визначено вимоги до інформаційної системи та побудовано архітектурну модель моніторингу. Розроблено структурну та функціональну схему системи, обґрунтовано вибір сенсорного обладнання, алгоритм взаємодії компонентів і техніко-економічні аспекти впровадження. Надано рекомендації з охорони праці, пожежної безпеки та екологічного захисту. Представлено візуальні матеріали (схеми, карти покриття, приклади монтажу обладнання).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: екологічний моніторинг, LoRaWAN, інформаційна система, сенсори, мережевий сервер, база даних, Київ, телеметрія, автоматизація, передача даних, бездротова мережа.

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ
Навчально–науковий інститут інформаційних технологій**

**ПОДАННЯ
ГОЛОВІ ДЕРЖАВНОЇ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
на здобуття освітнього ступеня бакалавр**

Направляється здобувач Ільїна А.А. до захисту кваліфікаційної роботи
(прізвище та ініціали)

за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології

(код, найменування спеціальності)

освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

(назва)

на тему: Інформаційна система моніторингу та сповіщення на основі технології LoRaWAN

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Директор ННІ ІТ _____

(підпис)

Катерина НЕСТЕРЕНКО

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Висновок керівника кваліфікаційної роботи

Здобувачка Ільїна Анастасія Анатоліївна продемонструвала глибоку теоретичну підготовку, впевнене володіння сучасними інформаційними технологіями, а також навички самостійної роботи з навчальними, довідковими та науково-технічними джерелами. У процесі виконання кваліфікаційної роботи проявила високий рівень відповідальності, аналітичне мислення та здатність до інженерного вирішення практичних завдань.

Все це дозволяє оцінити виконану кваліфікаційну роботу здобувачки Ільїної Анастасії Анатоліївни на оцінку “відмінно”, та присвоїти їй кваліфікацію «бакалавр з інформаційних систем та технологій».

Керівник кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Каміла СТОРЧАК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

«__» _____ 2025 року

Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувачка Ільїна А.А. допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедру _____

ІСТ

(назва)

(підпис)

Каміла СТОРЧАК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

ВІДГУК РЕЦЕНЗЕНТА
на кваліфікаційну роботу
на здобуття освітнього ступеня бакалавра

здобувачки вищої освіти **Ільїна Анастасія Анатоліївна**

на тему: **«Інформаційна система моніторингу та сповіщення на основі технології LoRaWAN».**

Актуальність.

Тема кваліфікаційної роботи є надзвичайно актуальною у зв'язку з глобальними викликами у сфері екології та зростаючими вимогами до систем моніторингу стану довкілля в умовах урбанізованих територій. Використання технології LoRaWAN дозволяє реалізувати масштабовану та енергоефективну мережу для збирання телеметричної інформації з різноманітних сенсорів, що відповідає сучасним вимогам цифрової трансформації міської інфраструктури.

Позитивні сторони.

У роботі Ільїної Анастасії Анатоліївни здійснено комплексний аналіз сучасних телекомунікаційних технологій, обґрунтовано вибір LoRaWAN для побудови системи екологічного моніторингу, розроблено архітектурну модель інформаційної системи з урахуванням реального проєкту та технічної документації.

Значна увага приділена практичній частині — аналізу об'єкта автоматизації, моделюванню покриття, вибору обладнання та оцінці доцільності впровадження. Робота має чітку структуру, містить ілюстративний матеріал (схеми, діаграми, плани), а також супроводжується презентацією.

Недоліки.

1. Варто було б більше уваги приділити методам аналізу ефективності вже встановлених систем екологічного контролю в Києві.
2. Розділ про підключення та обслуговування обладнання міг би містити більше технічних деталей з прикладами.

Висновок: *кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавра заслуговує оцінку «відмінно», а здобувачка Ільїна Анастасія Анатоліївна заслуговує присвоєння кваліфікації: “бакалавр з інформаційних систем та технологій”.*

Рецензент: _____

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ.....	11
1.1 Поняття, призначення та загальна характеристика інформаційних систем моніторингу	11
1.2 Класифікація інформаційних систем за функціональним призначенням	13
1.3 Аналіз сучасних технологій бездротового зв'язку для систем моніторингу	14
1.4 Особливості технології LoRaWAN та її порівняння з альтернативами	16
2 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	18
2.1 Загальна характеристика м. Київ як об'єкта моніторингу	18
2.2 Стан екологічної інфраструктури та наявних засобів спостереження	20
2.3 Аналіз технічної та інформаційної бази впровадження системи	21
2.4 Визначення проблем та вимог до майбутньої інформаційної системи	25
3 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА СПОВІЩЕННЯ НА ОСНОВІ LORAWAN	27
3.1 Структура та функціональні можливості системи	27
3.2 Архітектура системи на основі технології LoRaWAN	28
3.3 Вибір засобів збору, передачі та обробки даних	31
3.4 Алгоритм функціонування системи	33
3.5 Розміщення базових станцій та архітектурні особливості встановлення	34
3.6 Вибір сенсорного обладнання та вимірювальних параметрів	38
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ	58
4.1. Обґрунтування вибору апаратної та програмної частини.....	58
4.2 Орієнтовна оцінка витрат на впровадження системи	59
4.3. Порівняльний аналіз вартості аналогічних рішень	61
5 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ.....	63
5.1. Оцінка умов праці при монтажі та експлуатації обладнання	63
5.2. Заходи електробезпеки, пожежної безпеки, заземлення	64
5.3. Екологічна безпека функціонування системи	70

ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	74
Додаток А	77
ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)	81

ВСТУП

Погіршення екологічної ситуації в українських містах, зокрема в Києві, призводить до зростання ризиків для здоров'я населення, зниження якості життя та підвищення навантаження на інфраструктуру. Проблеми забруднення повітря, шумового навантаження, підвищення рівня пилу та газів (CO, NO₂, SO₂ тощо) вимагають розроблення нових систем оперативного моніторингу, здатних забезпечити точну, масштабовану та доступну модель спостереження за довкіллям. Існуючі системи моніторингу, що застосовуються в українських містах, ґрунтуються переважно на стаціонарних рішеннях з дротовими каналами передачі інформації, обмеженим територіальним охопленням та високими витратами на обслуговування.

У рамках реалізації міської програми цифрового розвитку «Електронна столиця» передбачено створення на території міста Києва опорної бездротової мережі для функціонування систем раннього оповіщення про техногенні загрози та екологічного моніторингу. Проектом передбачено використання технології LoRaWAN, яка забезпечить середовище для збору даних з розподілених пристроїв телеметрії та сенсорного обладнання різного призначення. Це рішення дозволяє перейти до якісно нового рівня моніторингу стану довкілля в місті Києві. Передбачається використання великої кількості автономних сенсорних пристроїв, розташованих у ключових точках міського середовища, які функціонуватимуть у межах бездротової мережі з широким покриттям та захищеним каналом передачі даних. Завдяки використанню технології LoRaWAN забезпечується простота масштабування системи, її сумісність з іншими цифровими сервісами міста та зниження витрат на експлуатацію.

Метою даної кваліфікаційної роботи є створення концепції інформаційної системи моніторингу та сповіщення на основі технології LoRaWAN у межах міста Києва. Розроблювана система має відповідати сучасним вимогам щодо

енергоефективності, надійності, масштабованості, безпеки передачі даних, а також інтеграції з іншими муніципальними інформаційними платформами.

У процесі дослідження вирішувалися наступні завдання:

- здійснити аналіз сучасного стану розвитку інформаційних систем моніторингу;
- дослідити можливості технології LoRaWAN і порівняти її з альтернативними рішеннями;
- вивчити екологічну ситуацію та технічні умови в місті Києві;
- розробити архітектурну модель інформаційної системи моніторингу;
- оцінити ефективність і доцільність впровадження системи з техніко-економічної точки зору;
- сформулювати рекомендації щодо охорони праці та екологічної безпеки при встановленні й експлуатації обладнання.

Об'єктом дослідження є система екологічного моніторингу в межах урбанізованої території міста Києва як складової частини цифрової інфраструктури міського управління.

Предметом дослідження є інформаційна система моніторингу та сповіщення, побудована на основі технології LoRaWAN, призначена для автоматизованого збору, передачі, обробки та візуалізації екологічних показників у режимі реального часу.

У роботі використано методи порівняльного аналізу телекомунікаційних технологій (LoRaWAN, NB-IoT, ZigBee, Wi-Fi), аналізу технічної документації, системного підходу до вибору технічних рішень, економічного обґрунтування впровадження, а також оцінки ризиків з погляду охорони праці та екологічної безпеки. Структурне моделювання архітектури інформаційної системи виконано з використанням програмного середовища AutoCAD, що дозволяє точно зобразити логіку побудови та взаємозв'язки основних компонентів системи.

Наукова новизна полягає в поєднанні сучасної LoRaWAN-інфраструктури з архітектурними рішеннями інформаційної системи, адаптованої до конкретного муніципального середовища. Вперше розроблено модель такої системи для

впровадження в місті Києві на основі матеріалів реального проєкту, з урахуванням локальних технічних і адміністративних умов.

Практична значущість роботи підтверджується тим, що запропоноване рішення може бути реалізоване у масштабах міста, а також адаптоване для застосування в інших регіонах України.

Дослідження базується на матеріалах, зібраних під час проходження переддипломної практики, а також на технічній документації, використаній у реальному проєкті впровадження інформаційної системи моніторингу в місті Києві. Основою для аналізу та розробки архітектури слугувало офіційне технічне завдання та проєктна документація, положення якої закріплені в рішенні Київської міської ради щодо впровадження інфраструктури на основі технології LoRaWAN.

Отримані результати мають не лише прикладне, а й методичне значення: розроблені архітектурні моделі, аналітичні підходи до оцінки об'єкта автоматизації та економічні розрахунки можуть бути використані для створення подібних систем у межах інших урбаністичних середовищ України.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПОБУДОВИ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ

1.1 Поняття, призначення та загальна характеристика інформаційних систем моніторингу

Інформаційні системи моніторингу є невід’ємною складовою сучасної урбаністичної інфраструктури, забезпечуючи систематичне спостереження за параметрами стану навколишнього середовища, техногенними процесами та об’єктами критичної інфраструктури. У контексті екологічного управління вони виконують функцію збору, збереження, обробки та візуалізації даних, необхідних для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Призначення таких систем полягає у забезпеченні своєчасного отримання об’єктивної інформації від датчиків, лічильників, сенсорів та інших пристроїв, які функціонують у розподіленому середовищі. Ці пристрої працюють у режимі реального часу або з певною періодичністю, передаючи дані до централізованих або розподілених сховищ для подальшого аналізу.

У межах цифрової трансформації міського управління, інформаційні системи моніторингу стають базисом для побудови розумного міста (Smart City). Їх основні функції включають:

- постійне відстеження параметрів довкілля (повітря, води, шуму, радіації тощо);
- виявлення потенційних загроз та критичних змін;
- оперативну передачу сигналів про порушення граничних значень;
- збереження та структурування даних у базах для подальшого аналізу;
- генерацію звітності та прогнозування тенденцій розвитку ситуації.

Системи моніторингу, які реалізуються в межах міських програм, як-от «Електронна столиця», орієнтуються на створення автоматизованої підсистеми збору, обробки, аналізу та збереження даних. Така підсистема базується на

програмно-технічному комплексі, який створюється відповідно до принципів уніфікації, відкритості, масштабованості та інформаційної безпеки.

У типовій архітектурі ІС моніторингу зазвичай виділяють три рівні:

1. Польовий рівень — сенсори, датчики, лічильники, що здійснюють первинний збір даних.
2. Передавальний рівень — пристрої передачі, шлюзи, базові станції (напр. LoRaWAN, GSM-модулі), які забезпечують зв'язок між польовими вузлами та сервером.
3. Аналітичний рівень — сервери, бази даних, ПЗ, яке здійснює обробку, візуалізацію, зберігання даних та формування звітності.

Кожен рівень відіграє ключову роль у забезпеченні надійної та безперервної роботи системи. Польовий рівень має бути максимально автономним і енергоефективним, що досягається, зокрема, шляхом використання технологій на кшталт LoRaWAN. Передавальний рівень забезпечує збереження даних під час передачі, зменшуючи ймовірність втрат. Аналітичний рівень відповідає за зручний інтерфейс для користувачів, інтеграцію з іншими цифровими платформами, а також за логіку оповіщення.

Функціонування сучасних систем моніторингу також включає:

- виявлення джерел забруднення та оцінку їхнього впливу;
- моделювання тенденцій та прогнозування майбутніх змін;
- формування науково-обґрунтованих рекомендацій щодо покращення екологічного стану територій;
- забезпечення прозорості для громадян шляхом відкритого доступу до екологічних даних.

У цілому, інформаційні системи моніторингу — це складні, багаторівневі комплекси, що поєднують інженерні, інформаційні та управлінські підходи. Вони є основою цифрової трансформації управління довкіллям, а також інструментом забезпечення сталого розвитку в умовах зростаючого антропогенного навантаження.

1.2 Класифікація інформаційних систем за функціональним призначенням

Інформаційні системи відіграють ключову роль у забезпеченні збору, обробки, зберігання та передачі даних у багатьох сферах людської діяльності. У контексті екологічного моніторингу вони дозволяють автоматизувати процеси отримання достовірної інформації про стан навколишнього середовища, сприяти своєчасному реагуванню на зміни в екологічній ситуації та підвищувати ефективність управлінських рішень. З огляду на різноманітність задач, які можуть вирішуватись за допомогою таких систем, виникає необхідність їх класифікації за функціональними ознаками.

У загальному вигляді інформаційні системи (ІС) поділяються на кілька категорій залежно від мети, яку вони переслідують. Зокрема, виділяють:

- Операційні (транзакційні) системи, основним завданням яких є обробка великої кількості однотипних транзакцій (наприклад, облік ресурсів або подій);
- Аналітичні (інформаційно-аналітичні) системи, призначені для узагальнення даних, побудови звітів, моделей та прийняття рішень;
- Контрольні системи, які автоматизують процес спостереження, діагностики та управління об'єктами в реальному часі;
- Гібридні системи, що поєднують функціональні можливості кількох попередніх типів і реалізуються у вигляді комплексних рішень.

Інформаційні системи екологічного моніторингу, до яких належить розроблювана в межах цієї роботи система, переважно належать до аналітичних та контрольних, з можливістю інтеграції в єдину міську цифрову платформу (Smart City). Їх функціональне призначення полягає у:

- зборі даних з датчиків та сенсорів у реальному часі;
- збереженні і структуризації зібраної інформації;
- візуалізації даних для прийняття рішень;
- виявленні аномалій та оповіщенні відповідальних служб;

- забезпеченні доступу до даних через відкриті API або вебінтерфейси.

У документації проєкту також вказано, що впроваджувана система повинна забезпечувати інформаційну взаємодію між усіма суб'єктами моніторингу, об'єднання даних за напрямками, централізоване збереження і доступ до інформації.

В екологічних інформаційних системах ключовим елементом є створення розподіленої, захищеної і масштабованої платформи з можливістю подальшого нарощування функціоналу. Тобто така система вже на рівні класифікації повинна проєктуватися з урахуванням можливості гнучкого розширення та адаптації до змін у технологічному середовищі.

Таким чином, класифікація ІС за функціональним призначенням дозволяє точніше визначити підходи до архітектури, вимоги до інтерфейсів, методи зберігання й обробки даних, а також обґрунтувати вибір технологічної платформи (у нашому випадку — LoRaWAN).

1.3 Аналіз сучасних технологій бездротового зв'язку для систем моніторингу

У сучасних інформаційних системах екологічного моніторингу важливу роль відіграє вибір ефективної технології передачі даних. Оскільки збір показників навколишнього середовища має здійснюватися з численних сенсорів, часто розміщених у важкодоступних або віддалених точках, до засобів телекомунікації пред'являються жорсткі вимоги щодо автономності, енергоспоживання, надійності та економічної ефективності.

Основними технологіями бездротової передачі, що знаходять застосування в міських і регіональних системах моніторингу, є GSM/3G/4G, NB-IoT, ZigBee, Wi-Fi та LoRaWAN. Кожна з них має свої переваги та обмеження.

Технології GSM та LTE вирізняються широким покриттям і високою швидкістю передачі даних, але вони мають обмеження у вигляді високого енергоспоживання, що критично для автономних сенсорних пристроїв. Крім того,

залежність від послуг мобільних операторів зумовлює додаткові витрати на трафік та SIM-карти. Технологія NB-IoT, яка є розвитком стандарту LTE для IoT-застосунків, показує вищу енергоефективність і кращу проникаючу здатність сигналу. Однак, вона також залежить від операторів і не дозволяє побудову приватних мереж, що важливо при реалізації інфраструктури міського рівня.

ZigBee — технологія з наднизьким енергоспоживанням і простою реалізацією, проте вона має вкрай обмежений радіус дії (до 100 м в ідеальних умовах) і не здатна забезпечити міське покриття. Подібні характеристики має Wi-Fi, який, незважаючи на високу швидкість передачі, не призначений для сенсорних мереж через енергозатрати та потребу у великій кількості точок доступу.

LoRaWAN — це технологія з розширеним покриттям (до 5 км у міських умовах), низьким енергоспоживанням (термін автономної роботи сенсора — до 10 років), підтримкою топології "зірка", наявністю засобів шифрування даних і можливістю створення приватних мереж. Це дозволяє будувати масштабовану інфраструктуру без участі сторонніх операторів. У межах реального проєкту ця технологія рекомендована як основа для екологічного моніторингу в Києві.

У проєктній документації зазначено: «Шлюз мережі LoRaWAN... приймає дані від кінцевих пристроїв за допомогою радіоканалу і передає їх в транзитну мережу... у якості такої мережі можуть виступати Ethernet та стільникові мережі (GSM)». Це технічне рішення дозволяє використання гібридних моделей зв'язку.

У цьому ж документі надані базові вимоги до мережевого обладнання: шлюзи, антени, інжектори живлення, сервери додатків та мережеві сервери, які централізовано керують трафіком і взаємодією пристроїв. Це демонструє системність і гнучкість реалізації LoRaWAN у міських екосистемах.

Таким чином, проведений порівняльний аналіз підтверджує, що LoRaWAN є найбільш придатною технологією для реалізації проєктів моніторингу довкілля в умовах міста, оскільки забезпечує оптимальний баланс між енергоефективністю, дальністю дії, безпекою передачі та вартістю впровадження.

1.4 Особливості технології LoRaWAN та її порівняння з альтернативами

У процесі побудови бездротових мереж для цілей екологічного моніторингу та автоматизованого збирання даних важливим критерієм вибору технології є здатність системи забезпечувати широке покриття, низьке енергоспоживання, надійність передачі даних, безпечність, а також масштабованість. Однією з найперспективніших у цьому напрямі є технологія LoRaWAN, що входить до категорії LPWAN (Low Power Wide Area Network).

Серед найбільш поширених технологій, які розглядаються як основа для побудови розподілених мереж збору даних, є NB-IoT (Narrowband IoT), LTE-M, ZigBee, Wi-Fi та LoRaWAN. Для повноти аналізу слід коротко охарактеризувати кожен з них:

- NB-IoT — технологія стільникового зв'язку, яка працює в ліцензованому спектрі. Забезпечує стабільний зв'язок, однак вимагає інфраструктури мобільного оператора та має обмеження в автономності пристроїв.
- LTE-M — також стільникова технологія, орієнтована на пристрої з підвищеними вимогами до швидкості передачі даних. Енерговитрати вищі за NB-IoT.
- ZigBee — локальна мережа з малим радіусом дії (до 100 м), потребує ретельної побудови сіткової топології та часто має проблеми з масштабуванням.
- Wi-Fi — забезпечує високу швидкість передачі даних, але не підходить для автономних систем через велике енергоспоживання і короткий радіус дії.

На тлі цих рішень LoRaWAN вигідно вирізняється своєю автономністю, можливістю роботи до 10 років від одного джерела живлення, підтримкою великої кількості пристроїв на одній базовій станції, гнучкістю в архітектурі мережі та підтримкою відкритих протоколів.

Ключові переваги LoRaWAN, зафіксовані в технічній документації, включають:

- автономна робота до 10 років при використанні LoRaWAN-модемів із низьким енергоспоживанням (у режимі сну – 200 нА, у режимі прийому – 9,7 мА, у режимі передачі – 40 мА);
- можливість демодуляції сигналу при рівні шуму на 20 dB вище рівня корисного сигналу;
- використання вільного частотного діапазону 863–870 МГц, що не вимагає ліцензування в Україні;
- підтримка відкритого стандарту LoRaWAN™ 1.1, що дає можливість розширення, додавання нових пристроїв та уніфікації.

Крім того, системи на базі LoRaWAN не залежать від інфраструктури мобільних операторів, що значно знижує витрати на утримання і дає змогу створювати приватні захищені мережі. Протокол дозволяє легко реалізувати топологію типу «зірка» з базовими станціями-шлюзами, які передають зібрані дані на сервер додатків.

Загалом, з урахуванням екологічних умов, розмірів покриття, енергетичної незалежності, захищеності та можливості розширення, LoRaWAN є найбільш оптимальним вибором для реалізації системи екологічного моніторингу в умовах міста Києва. Це дозволяє перейти від точкових локальних систем до масштабованої цифрової екологічної платформи, яка може інтегруватися з іншими компонентами міської інфраструктури.

2 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Загальна характеристика м. Київ як об'єкта моніторингу

Місто Київ, як столиця України, є найбільшим урбаністичним центром країни, що охоплює 10 адміністративних районів (рис. 2.1) і має розвинену інфраструктуру, високу щільність забудови та постійне зростання населення. Урбанізаційні процеси у Києві супроводжуються значним техногенним навантаженням на довкілля — зокрема, через інтенсивний автомобільний рух, діяльність промислових підприємств, будівництво та викиди в атмосферу. Все це створює постійну потребу в точному, оперативному та масштабованому моніторингу екологічного стану міського середовища.

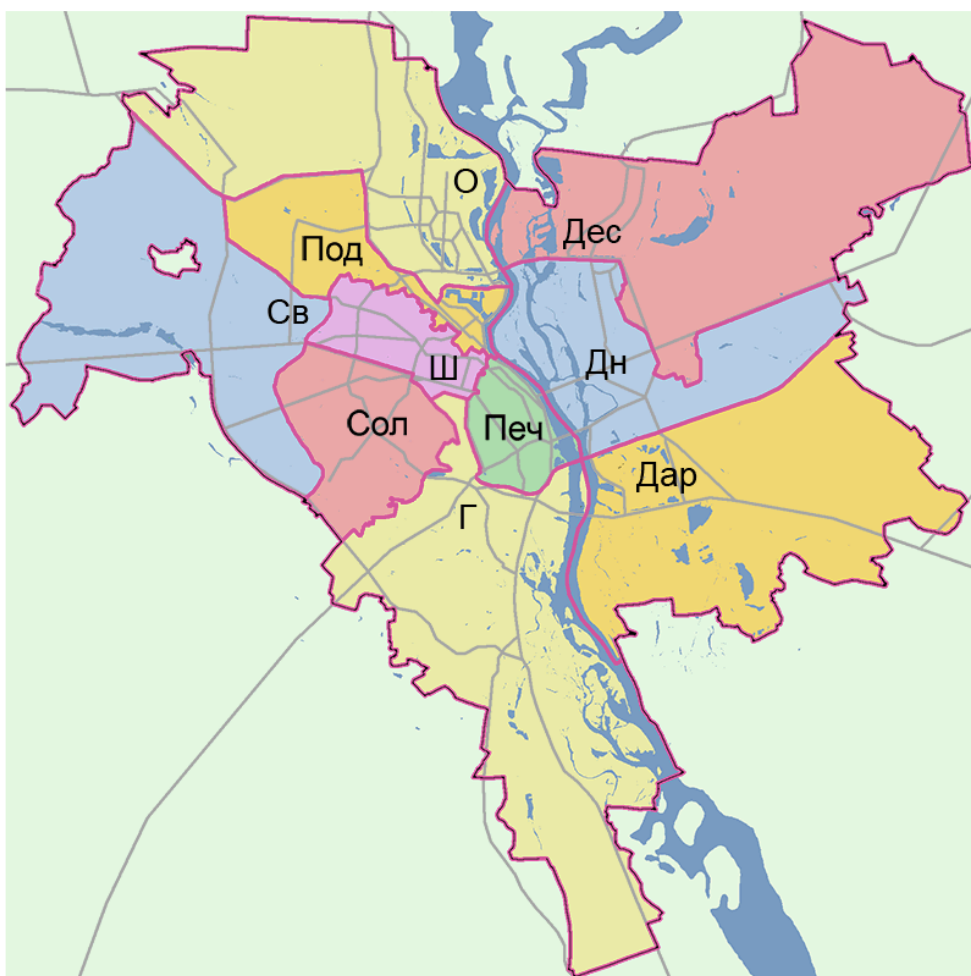


Рис. 2.1 – Адміністративний поділ території м. Києва

У рамках реалізації міської програми «Електронна столиця» передбачено впровадження масштабованої інформаційної системи екологічного моніторингу, що дозволить покривати радіосигналом не менше 70% території Києва. Як зазначено в ескізному проєкті, для досягнення такого рівня покриття передбачено встановлення 410 базових станцій (БС), із них 343 – на дахах із пласкою конструкцією, а 67 – на дахах із шатровою конструкцією.

Реалізація цієї системи надасть змогу моніторити якість повітря, рівень шуму та інші параметри навколишнього середовища у ключових точках міста. Це важливо з огляду на наявність великої кількості комунальних та приватних будівель, що можуть слугувати інфраструктурною основою для розміщення вузлів мережі. За наданими даними, у Києві нараховується понад 8 тисяч будівель, що належать до комунальної власності, найбільше з яких зосереджено в Шевченківському (1442), Солом'янському (1163), Дніпровському (1009) районах.

Київ як об'єкт моніторингу також вирізняється складною транспортною інфраструктурою та високим рівнем автомобільного трафіку, що є одним з головних джерел забруднення повітря. Це обґрунтовує необхідність встановлення систем збору даних в районах із найбільшою транспортною активністю. Окрім того, у Києві зосереджена велика кількість будівель соціальної інфраструктури, закладів освіти, охорони здоров'я, житлових будинків, що підсилює потребу в надійному екологічному контролі для захисту населення.

Місто має адміністративно-територіальний поділ на 10 районів: Голосіївський, Дарницький, Деснянський, Дніпровський, Оболонський, Печерський, Подільський, Святошинський, Солом'янський і Шевченківський. Такий поділ дозволяє формувати осередки спостереження відповідно до специфіки кожного району, враховуючи локальні екологічні ризики.

У межах кожного району будуть використовуватись автономні сенсорні пристрої з LoRaWAN-зв'язком, що дозволить формувати децентралізовану, але підпорядковану єдиному координаційному центру мережу контролю стану довкілля. Загальне керування системою передбачається реалізувати з єдиної

муніципальної платформи, що дозволить збирати, зберігати, обробляти та візуалізувати екологічні дані у режимі, близькому до реального часу.

Таким чином, Київ як об'єкт моніторингу є надзвичайно перспективним у контексті впровадження системи екологічного контролю нового покоління. Широка територія, густе заселення, різноманітність джерел забруднення та адміністративна підтримка цифрових ініціатив створюють сприятливі передумови для ефективного використання бездротових технологій моніторингу та сповіщення.

2.2 Стан екологічної інфраструктури та наявних засобів спостереження

На сьогоднішній день екологічна інфраструктура міста Києва є фрагментованою та функціонує без належної централізації даних. Існуюча система моніторингу якості повітря не забезпечує повного охоплення території міста та не відповідає сучасним вимогам до швидкості, точності та доступності даних. Як зазначено у проектній документації, «існуюча на сьогодні в м. Києві система є недосконалою, не є однорідною та не має єдиної централізованої точки збору та обробки даних».

Більшість наявних постів спостереження підпорядковані різним установам і мають застаріле обладнання. Більш того, «збір і обробка інформації в основному не автоматизовані, засновані на лабораторно-хімічних методах аналізу проб». Це означає, що дані збираються вручну кілька разів на добу й використовуються переважно для статистичних оглядів, а не для оперативного реагування.

Встановлено, що аналіз атмосферного повітря здійснюється лише чотири рази на добу в робочі дні, згідно з графіком, який застосовує Центральна геофізична обсерваторія разом із санітарно-епідеміологічною службою МОЗ України. Така періодичність не дозволяє своєчасно виявляти різкі зміни у якості повітря, особливо в умовах техногенних ризиків.

Водночас місто вже має базові технічні ресурси для запуску сучасної системи моніторингу. Станом на час написання документації було виявлено наявність «22 стаціонарних постів моніторингу, які оснащені необхідними приладами та

засобами передачі даних». До них також входить один мобільний пост, сервери обробки даних, диспетчерські пункти та засоби зв'язку з іншими органами.

Однак навіть ці елементи не об'єднані в єдину систему. Часто вони функціонують автономно й не мають доступу до загального центру обробки або інтеграції з іншими міськими сервісами. Саме це зумовлює потребу в переході до цифрової платформи моніторингу на основі сучасної технології зв'язку, яка дозволить забезпечити надійну передачу даних, централізовану обробку та візуалізацію в режимі реального часу.

З метою усунення зазначених недоліків та створення ефективної інфраструктури, яка б відповідала вимогам безперервного екологічного моніторингу, у місті планується впровадження сучасної автоматизованої системи з використанням бездротової мережі LoRaWAN. Її реалізація є логічним кроком у рамках комплексної міської програми «Електронна столиця» та відповідає загальносвітовим тенденціям цифрової трансформації екологічного контролю.

2.3 Аналіз технічної та інформаційної бази впровадження системи

Для ефективного впровадження сучасної системи екологічного моніторингу в місті Києві необхідною є наявність достатньої технічної та інформаційної інфраструктури, здатної забезпечити розміщення, підключення, обслуговування і централізовану обробку даних з численних точок спостереження. На момент розроблення проєкту вже була сформована концепція побудови бездротової опорної мережі на базі технології LoRaWAN із розподіленим збором даних і централізованим управлінням мережею та серверами застосувань.

Відповідно до документації, для забезпечення стійкого покриття території міста планується розгортання 410 базових станцій, з яких 343 встановлюватимуться на дахах із пласкою конструкцією, а 67 — на дахах із шатровою конструкцією. Така конфігурація дозволяє охопити не менше 70% території Києва без додаткових витрат на нові опори або споруди.

Серверна частина системи передбачає наявність декількох логічних компонентів: мережевий сервер, сервер застосувань, база даних і шлюз LoRa. У технічному описі зазначено, що «мережевий сервер здійснює контроль за функціонуванням шлюзів, здійснює фільтрацію, підтвердження отримання даних і маршрутизацію пакетів». Сервер застосувань, у свою чергу, відповідає за обробку інформації згідно з внутрішньою логікою програмного забезпечення і передачу результатів через API до інтерфейсів користувача.

Особливістю обраної архітектури є підтримка протоколу LoRaWAN 1.1 та функціонування в частотному діапазоні 868 МГц, що дозволяє уникати необхідності ліцензування каналів зв'язку й значно знижує бар'єр входу для впровадження. Водночас усі компоненти системи повинні бути сумісні з відкритим стандартом LoRaWAN і підтримувати шифрування AES128, що забезпечує безпеку передавання даних у публічному середовищі.

З метою інтеграції нової системи в існуюче міське середовище передбачено використання вже наявної інфраструктури. Так, для розміщення антен і обладнання планується залучити понад 8000 будівель комунальної власності, найбільше з яких розташовано в Шевченківському, Солом'янському та Дніпровському районах. Усі вузли системи мають підключення до електромережі й потенційно можуть забезпечити базові умови для роботи обладнання.

Інформаційна частина системи базується на принципі централізованого збору, збереження й візуалізації екологічних показників. Як зазначено у проєкті, це дозволяє «забезпечити обмін інформацією між усіма суб'єктами моніторингу, об'єднання інформації за напрямками, централізоване збереження й доступ до інформації».

Що стосується програмної частини, її специфікація охоплює функціональні вимоги до системи адміністрування, обліку пристроїв, моніторингу стану мережі, а також модулів обробки та аналізу вхідних даних. Частина цих компонентів уже описана в рамках Технічного завдання, де передбачено необхідність розробки спеціалізованого інтерфейсу, журналів подій, налаштувань сповіщень і формування звітності за визначеними критеріями.

Таким чином, технічна та інформаційна база для реалізації системи моніторингу в Києві вже має напрацьовану концепцію, чітке інфраструктурне підґрунтя та відповідає вимогам для запуску пілотного проєкту з подальшим масштабуванням.

У межах проєктування інформаційної системи моніторингу на основі технології LoRaWAN особливе значення має забезпечення оптимального покриття радіомережі для стабільного збору даних від сенсорних пристроїв у реальних умовах міста. З урахуванням адміністративного поділу Києва та його різноманітної просторової структури було виконано моделювання мережевого покриття із зазначенням орієнтовних точок розміщення базових станцій.

Номінальні плани дозволяють візуально оцінити зони дії сигналу, щільність покриття, а також технічну доцільність розміщення інфраструктури в різних типах забудови — від щільного центру до периферійних районів. Це дає змогу адаптувати архітектуру мережі до потреб обраної території, враховуючи міські особливості та типові перепони на шляху сигналу.

Нижче наведено приклади таких планів для трьох типових районів столиці — Шевченківського (рис. 2.2), Оболонського (рис. 2.3) та Голосіївського (рис. 2.4).

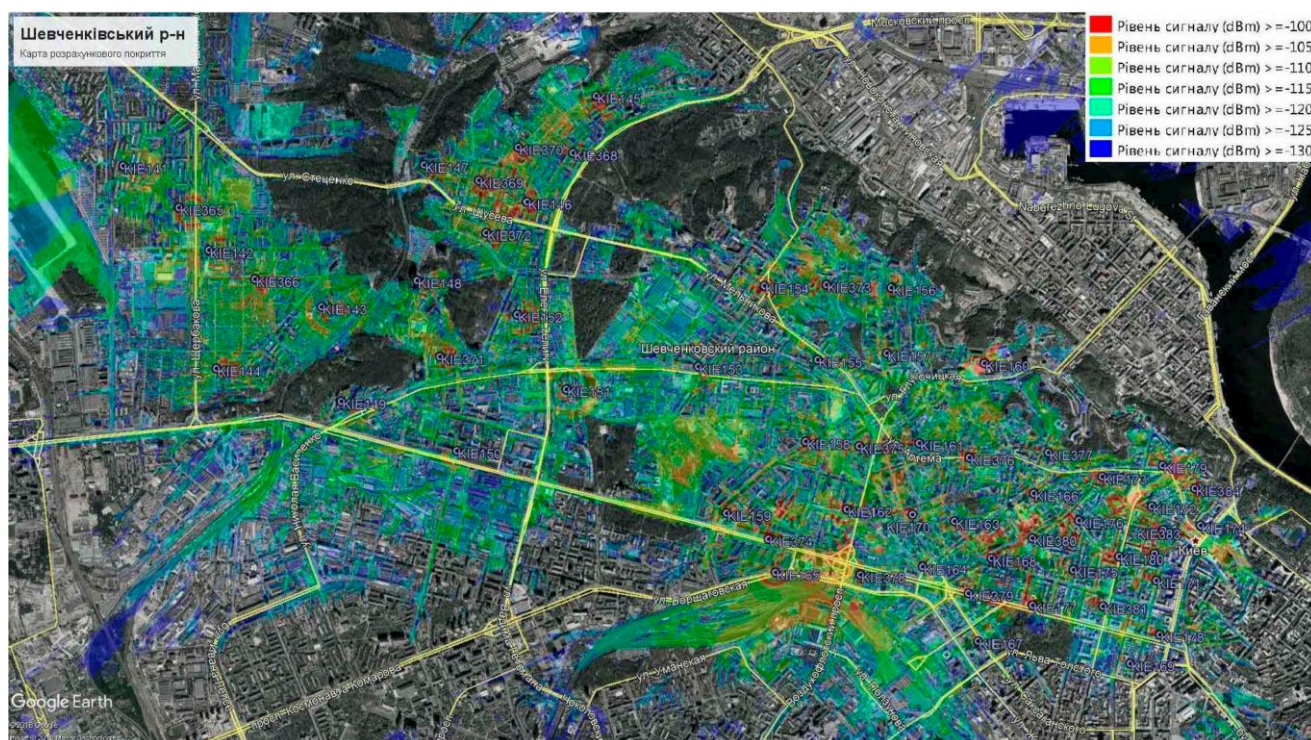


Рис. 2.2 – Номінальний план покриття для Шевченківського району м. Києва



Рис. 2.3 – Номінальний план покриття для Оболонського району м. Києва

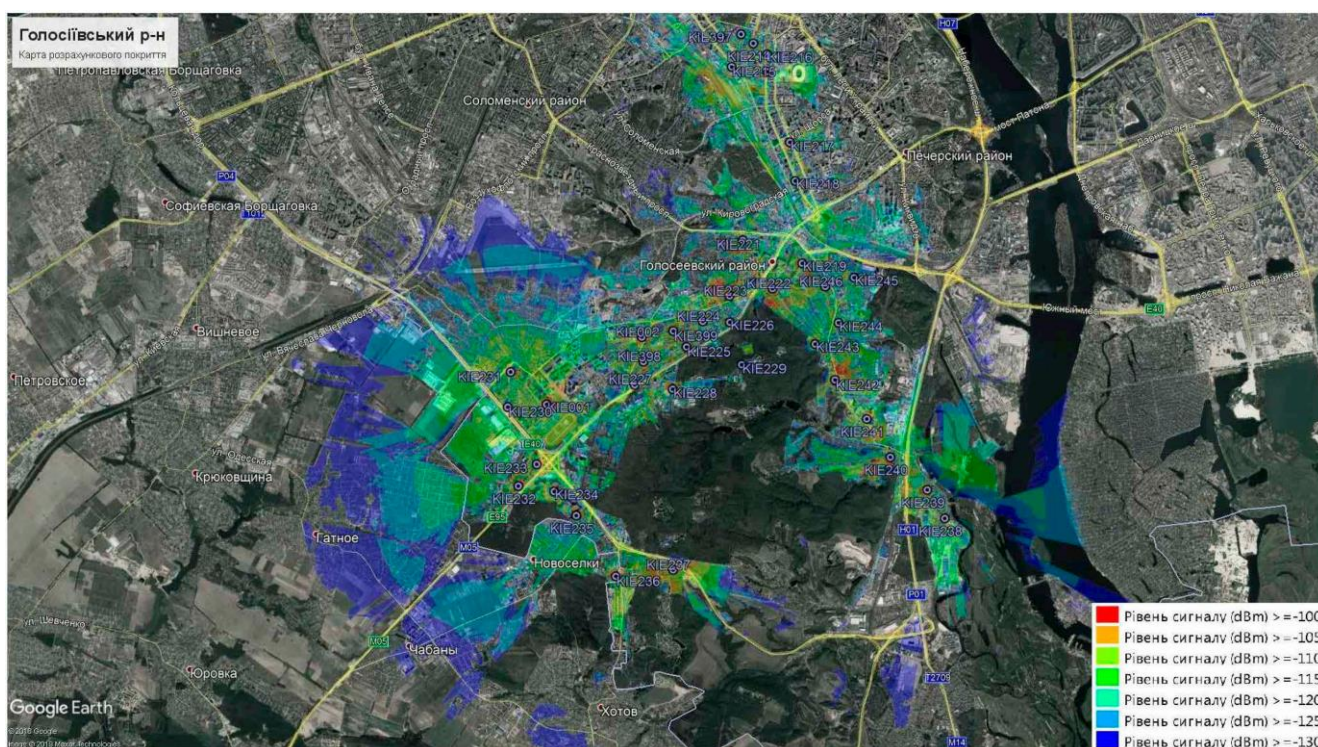


Рис. 2.4 – Номінальний план покриття для Голосіївського району м. Києва

Повна візуалізація покриття мережі по всіх адміністративних районах Києва представлена у додатку А.

2.4 Визначення проблем та вимог до майбутньої інформаційної системи

У процесі аналізу об'єкта автоматизації, а також на підставі вивчення чинного технічного завдання, було виявлено низку проблем, які суттєво впливають на якість, своєчасність та повноту екологічного моніторингу. Основні труднощі пов'язані з недостатньою інтеграцією існуючих інформаційних систем, відсутністю єдиної уніфікованої платформи обробки даних, а також високою вартістю експлуатації стаціонарного обладнання.

Серед критичних проблем можна виокремити:

- використання застарілого технічного забезпечення, яке не підтримує сучасні протоколи зв'язку;
- низький рівень автоматизації збору даних;
- відсутність єдиної структури управління інформаційними потоками між підсистемами;
- труднощі з масштабуванням існуючих рішень на нові райони міста;
- недостатній рівень безпеки переданих екологічних даних;
- відсутність інтерфейсів для взаємодії з іншими системами міського управління (API).

Відповідно до цього, до майбутньої інформаційної системи моніторингу висуваються наступні технічні та функціональні вимоги:

- підтримка постійного режиму функціонування (24/7/365);
- можливість інтеграції з існуючими системами через відкритий API;
- підтримка масштабованості — підключення нових БС без потреби в модернізації центрального обладнання;
- забезпечення конфіденційності та цілісності даних;
- підтримка дистанційного адміністрування та резервного копіювання.

Також система повинна враховувати вимоги до «створення умов функціонування об'єкта автоматизації» та «підготовки об'єкта до введення в дію».

З урахуванням зазначеного, в рамках розроблення архітектури нової інформаційної системи необхідно реалізувати такі функціональні компоненти:

- модуль збору даних із сенсорів;
- центр обробки та візуалізації інформації;
- інтерфейс керування системою з функціями моніторингу, налаштування та аналітики;
- механізми сповіщення при перевищенні порогових значень параметрів довкілля;
- журналювання подій, архівування інформації та засоби контролю доступу.

Крім того, враховуючи ризики щодо функціональної безпеки та нормативні обмеження, проектна документація має передбачати виконання вимог з охорони праці, пожежної безпеки, метрологічного та організаційного забезпечення.

3 ПРОЄКТУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА СПОВІЩЕННЯ НА ОСНОВІ LORAWAN

3.1 Структура та функціональні можливості системи

Інформаційна система моніторингу на основі технології LoRaWAN є ієрархічно організованою розподіленою мережею, до складу якої входять технічні та програмні засоби для збору, передачі, зберігання та обробки даних з сенсорних пристроїв, розташованих по території міста. Архітектура системи передбачає поділ на кілька ключових підсистем: польову (сенсорну), комунікаційну, серверну та аналітичну.

Система побудована за моделлю зіркоподібної топології, де термінальні пристрої (сенсори) передають дані через базові станції (шлюзи) до мережевого сервера, який у свою чергу спрямовує ці дані до серверу додатків для подальшого аналізу, зберігання та візуалізації. Така структура дозволяє забезпечити масштабованість і гнучкість у впровадженні системи в умовах міської інфраструктури.

До базових компонентів системи належать:

- Базова станція LoRaWAN (Gateway) — виконує прийом даних з кінцевих пристроїв за допомогою радіоканалу та передає їх до мережевого сервера через інтернет (Ethernet або GSM). Комплект базової станції включає в себе шлюз, антену, інжектор живлення, лічильник електроенергії та кабельну інфраструктуру.
- Мережевий сервер — обробляє повідомлення від пристроїв, керує сесіями з'єднання, маршрутизацією повідомлень, забезпечує шифрування та автентифікацію. Крім того, він виконує функції керування шлюзами та трафіком.
- Сервер додатків — відповідальний за зберігання, обробку та інтерпретацію даних, що надходять з мережевого сервера. Зокрема, він реалізує сервіси візуалізації даних, генерування сповіщень та інтеграцію з міськими інформаційними платформами.

Важливою функціональною характеристикою системи є підтримка стандартних інтерфейсів і протоколів (HTTP, SNMP, SMTP), що забезпечує її сумісність з іншими сервісами та системами. Це дозволяє впроваджувати відкриті API для передачі даних до міських порталів управління, застосунків для аналітики або мобільних клієнтів.

Також система підтримує рольовий доступ до даних і керування — передбачено окремі портали для диспетчерів, адміністраторів, технічного персоналу та розробників.

Додатково система може працювати у режимі взаємодії з іншими протоколами IoT, такими як NB-IoT або LTE-M, шляхом додаткової інтеграції, що закладено у вимоги до гнучкості архітектури.

Таким чином, структура інформаційної системи LoRaWAN включає в себе як апаратну інфраструктуру (сенсори, шлюзи, сервери), так і програмні рішення (серверна частина, аналітичні модулі, інтерфейси керування), які в сукупності забезпечують надійний та масштабований моніторинг екологічної ситуації у місті.

3.2 Архітектура системи на основі технології LoRaWAN

Інформаційна система моніторингу на базі LoRaWAN передбачає побудову багаторівневої архітектури, що охоплює кінцеві сенсорні пристрої, шлюзи зв'язку, мережеву інфраструктуру та сервери обробки й візуалізації даних. Основним принципом побудови є розділення функцій збору, передачі та обробки інформації, що відповідає вимогам масштабованості, надійності та безпеки. Загальна логіка взаємодії між компонентами інформаційної системи подана на структурній схемі мережі (рис. 3.1).

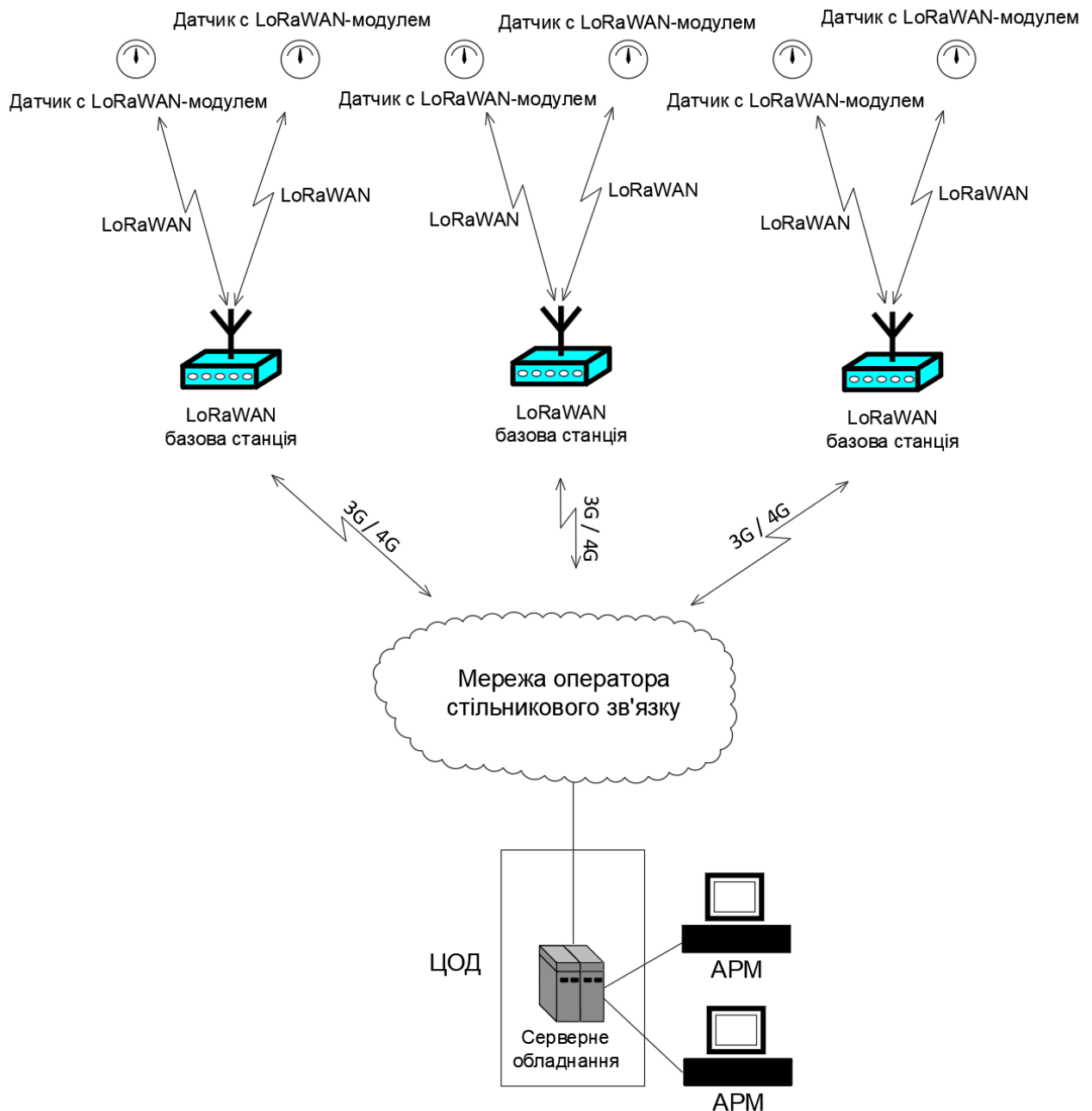


Рисунок 3.1 – Структурна схема мережі

Функціональна структура інформаційної системи моніторингу передбачає послідовну взаємодію її компонентів, кожен із яких виконує специфічні завдання в межах загального циклу збору, обробки та подання інформації. Кінцеві пристрої, розміщені у контрольованих зонах, передають телеметричні дані через базові станції LoRaWAN до мережевого сервера, який виконує керування базовими станціями та сенсорами, а також забезпечує прийом і зберігання службової інформації (діагностика, статистика, реєстрація подій).

Оброблені дані з мережевого сервера надходять до сервера застосунків, де виконується подальша обробка, аналітика та візуалізація інформації відповідно до заданих алгоритмів. В результаті підготовлені дані передаються до автоматизованих робочих місць (АРМ): АРМ диспетчера — для адміністрування та контролю працездатності базових станцій (у тому числі їх підключення, налаштування та обслуговування), і АРМ оператора — для моніторингу фактичних показників з кінцевих пристроїв (температура, вологість, рівень забруднення тощо).

Передача інформації між компонентами здійснюється в зашифрованому вигляді згідно з вимогами протоколу LoRaWAN, що гарантує безпечну комунікацію на всіх етапах. Така побудова дозволяє реалізувати повноцінну, централізовано керовану систему моніторингу з високим рівнем надійності та адаптації до різних типів даних і сценаріїв використання (рис. 3.2).

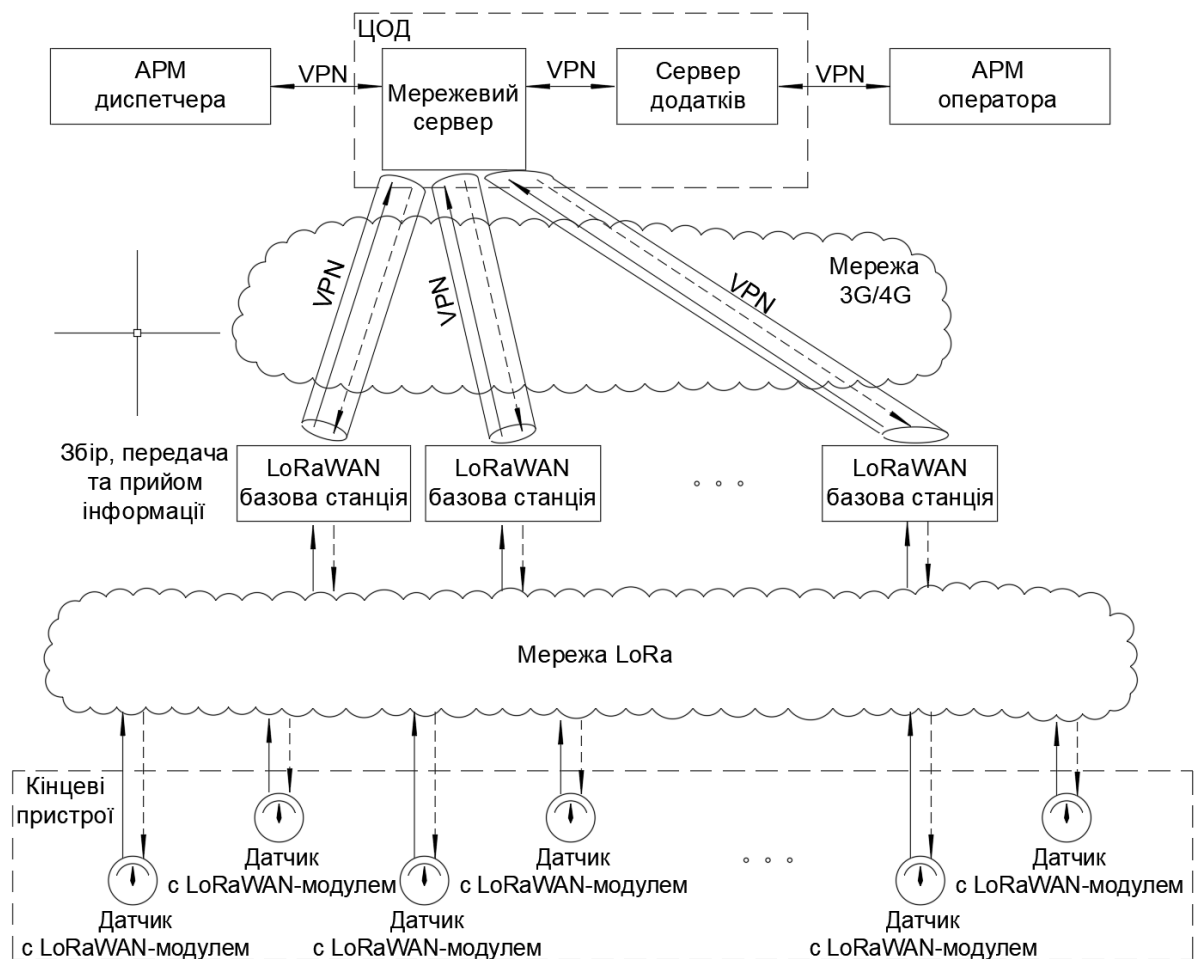


Рисунок 3.2 – Схема функціональної структури інформаційної системи моніторингу

Після побудови загальної архітектури системи доцільно детальніше розглянути функціональні особливості її основних рівнів. На першому рівні працюють сенсорні пристрої, розміщені безпосередньо в контрольованому середовищі. Вони вимірюють параметри довкілля, зокрема температуру, вологість, концентрацію газів, рівень пилу тощо. Кожен сенсор оснащено модулем LoRaWAN, що забезпечує передачу зібраної інформації у бездротовій мережі на частоті 868 МГц. Такий підхід дозволяє уникати необхідності використання ліцензованого радіочастотного спектру, що спрощує впровадження мережі.

Передані дані приймають базові станції, які виконують роль шлюзів між польовими пристроями і центральною частиною системи. Вони встановлюються на будівлях комунальної власності, що дозволяє мінімізувати витрати на інфраструктуру. До складу базової станції входить LoRa-концентратор, антена, блок живлення, інжектор PoE та інші допоміжні елементи. Для передачі інформації до серверів застосовуються дротові або стільникові канали зв'язку.

На третьому рівні функціонує серверна частина, яка включає мережевий сервер, сервер застосунків, базу даних і адмініструвальні модулі. Усі компоненти працюють безперервно, забезпечуючи обробку, маршрутизацію, зберігання і візуалізацію інформації. Для безпеки використовується VPN-з'єднання, а сама система підтримує механізми централізованого керування пристроями та забезпечує гнучкість для додавання нових компонентів і сервісів у майбутньому.

3.3 Вибір засобів збору, передачі та обробки даних

Для забезпечення безперервного збору, передачі та обробки даних у межах екологічної системи моніторингу було обрано компоненти, що відповідають технічним вимогам сучасної LoRaWAN-інфраструктури. Вибір обладнання базувався на принципах надійності, енергоефективності, простоти встановлення та інтеграції в загальноміське середовище.

Основу мережі становлять кінцеві пристрої (сенсори), що збирають екологічні показники — температуру, вологість, рівень вмісту пилу, CO₂ та інші

параметри. Ці пристрої мають низьке енергоспоживання та підтримують довготривалу автономну роботу (до 10 років), що особливо важливо для розміщення у важкодоступних або віддалених точках міста.

Передача даних до центральної системи здійснюється за допомогою шлюзів LoRaWAN (Gateway). Вони виконують функцію ретрансляції сигналів з пристроїв у мережу, працюючи в частотному діапазоні 863–870 МГц, з підтримкою Ethernet або GSM-каналів. Кожен шлюз має IP67-захист, пасивне охолодження, GPS та GSM-модулі, а також роз'єм для зовнішньої антени.

Мережевий сервер виступає координаційним вузлом: він отримує дані від шлюзів, фільтрує, агрегує та передає їх до серверу додатків, де відбувається обробка та візуалізація інформації. Сервер також відповідає за маршрутизацію пакетів, авторизацію пристроїв, уникнення дублювання даних та адаптивну зміну швидкості передачі (ADR).

Зберігання та первинна обробка інформації реалізовані на програмно-апаратному комплексі, що розміщується в центрі збору даних. Він побудований на серверному обладнанні, яке підтримує роботу в кластерному режимі для забезпечення високої доступності та масштабованості.

Додатково для відображення інформації про екологічний стан у режимі реального часу використовуються АРМ (автоматизовані робочі місця) диспетчерів, що забезпечують взаємодію з програмним забезпеченням через вебінтерфейс.

Ключові переваги обраного технічного рішення:

- автономність та енергоефективність кінцевих пристроїв;
- гнучкість каналів передачі (Ethernet, GSM);
- масштабованість інфраструктури завдяки кластерній архітектурі;
- підтримка сучасних протоколів шифрування та безпечної авторизації.

Таким чином, запропонований набір апаратних і програмних засобів забезпечує ефективний збір, обробку й аналіз екологічних даних у міських умовах, із врахуванням технічних, економічних та експлуатаційних вимог.

3.4 Алгоритм функціонування системи

Функціонування інформаційної системи моніторингу на основі технології LoRaWAN забезпечується взаємодією кількох ключових компонентів, що утворюють єдину телекомунікаційну та інформаційну структуру. Алгоритм дії системи побудований на принципах безперервного збору, передачі, обробки, аналізу та візуалізації екологічних даних у реальному часі.

На першому етапі дані збираються з кінцевих пристроїв — екологічних сенсорів, що встановлені на об'єкті моніторингу. Ці сенсори обладнані LoRaWAN-модулями і функціонують в автономному режимі, що забезпечує їх довготривалу роботу без необхідності заміни живлення.

Зібрані сенсорами дані передаються на базову станцію LoRaWAN у радіусі дії до 5 км у міських умовах. Базова станція приймає дані та через IP-з'єднання (Ethernet або GSM/4G) пересилає їх на мережевий сервер. При цьому реалізується топологія типу «зірка», що забезпечує централізовану маршрутизацію пакетів і стійкість до втрати окремих елементів.

На мережевому сервері відбувається первинна обробка інформації: перевірка цілісності, дешифрування (AES128), сортування та маршрутизація до відповідного додатку. Сервер також здійснює моніторинг стану базових станцій, включно з отриманням службової інформації, такої як координати GPS, режими функціонування та показники працездатності.

Оброблені дані передаються до серверу додатків, де здійснюється їх агрегація, візуалізація, аналіз і підготовка до подальшого використання — зокрема формування сповіщень у разі перевищення допустимих екологічних показників, збереження історичних даних, побудова аналітичних графіків.

Таким чином, загальний алгоритм функціонування виглядає наступним чином:

1. Вимірювання параметрів довкілля сенсорами.
2. Радіопередача даних на базову станцію.
3. Передача даних на мережевий сервер через захищені IP-канали.

4. Аналіз, сортування та зберігання інформації.
5. Відправлення даних на сервер додатків.
6. Візуалізація та формування повідомлень.
7. Доступ до даних через інтерфейси системи.

Цей алгоритм реалізує повноцінний цикл управління екологічною інформацією та забезпечує як автоматизовану фіксацію змін параметрів, так і можливість прийняття рішень на основі достовірної, актуальної інформації.

3.5 Розміщення базових станцій та архітектурні особливості встановлення

Для забезпечення стійкого покриття території міста Києва базові станції LoRaWAN встановлюються з урахуванням особливостей дахових конструкцій будівель. Проєктом передбачено два основних типи монтажу обладнання — на жорсткій основі (залізобетонній плиті) та на інженерних елементах типу повітропроводу.

3.5.1 Встановлення базової станції на анкерній плиті

У першому варіанті монтаж здійснюється на горизонтальній поверхні даху. Антенно-щоглова конструкція фіксується на анкерній плиті, що дозволяє забезпечити необхідну жорсткість і надійність кріплення. Такий підхід застосовується у випадках, коли дах будівлі має плоску поверхню з вільним технічним доступом (рис. 3.3).

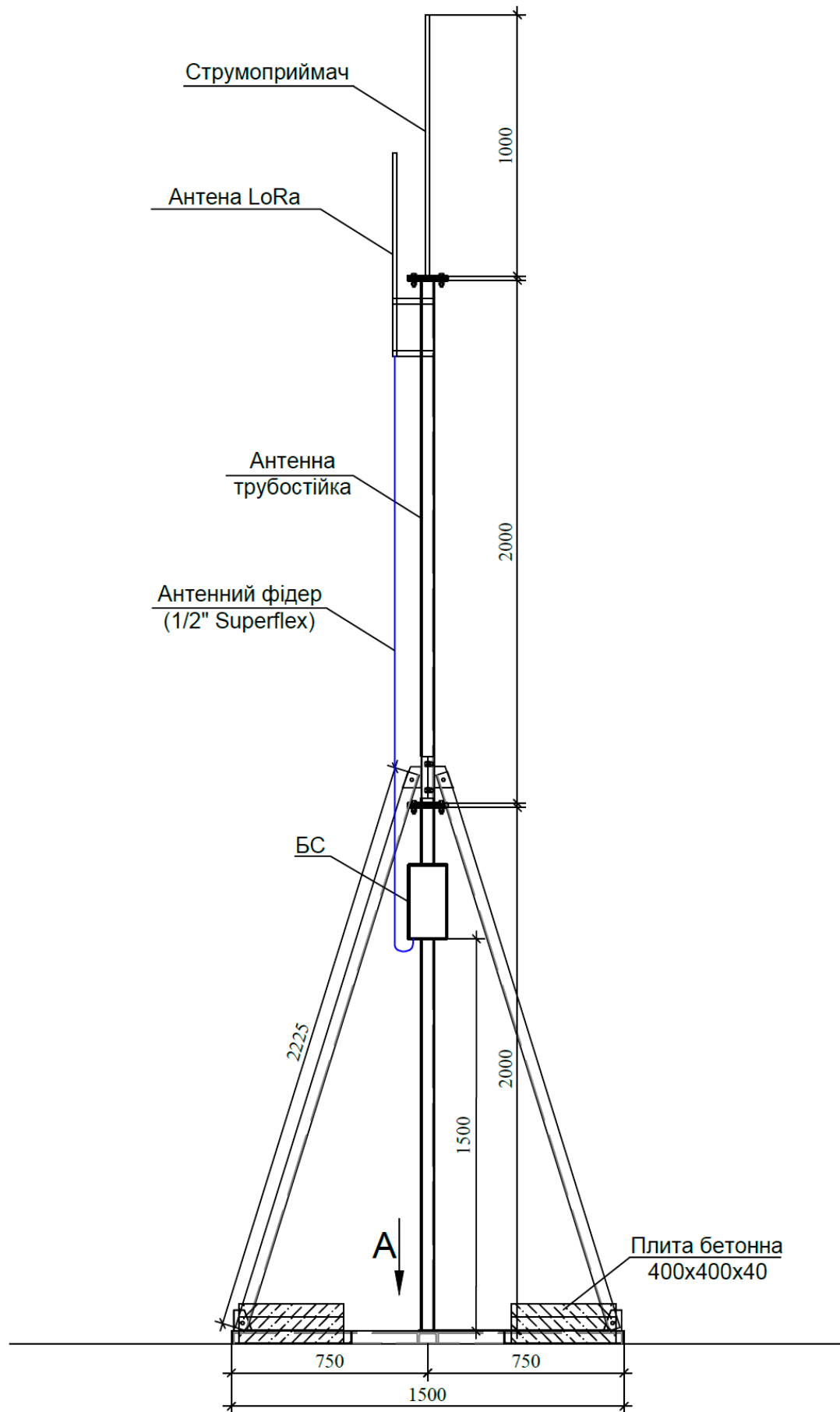


Рис. 3.3 (а) - Вид збоку встановлення БС на плиті

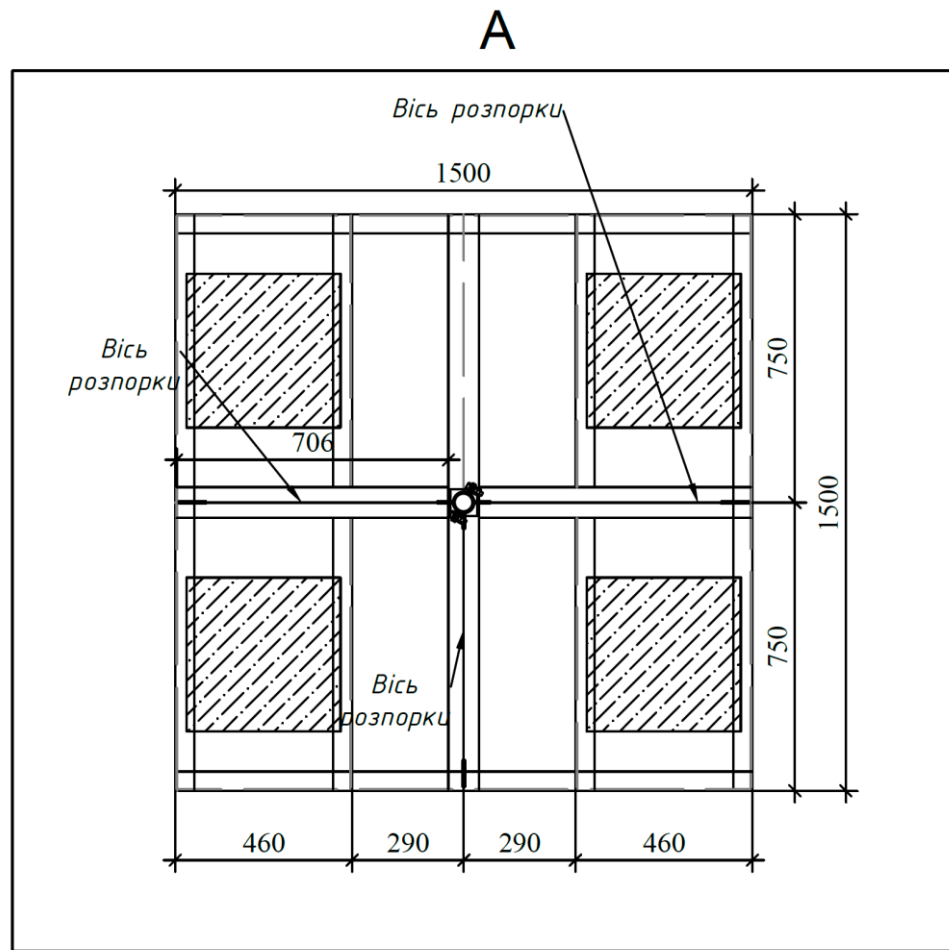


Рис. 3.3 (б) - Вид згори встановлення БС на плиті

3.5.2 Встановлення базової станції на інженерній конструкції

Другий варіант передбачає кріплення антенної конструкції безпосередньо до технічних елементів будівлі, наприклад, до повітропроводу або інженерної опори. Це рішення використовується у випадках, коли дах має складну форму, обмежений простір або неможливо застосувати анкерну плиту (рис. 3.4).

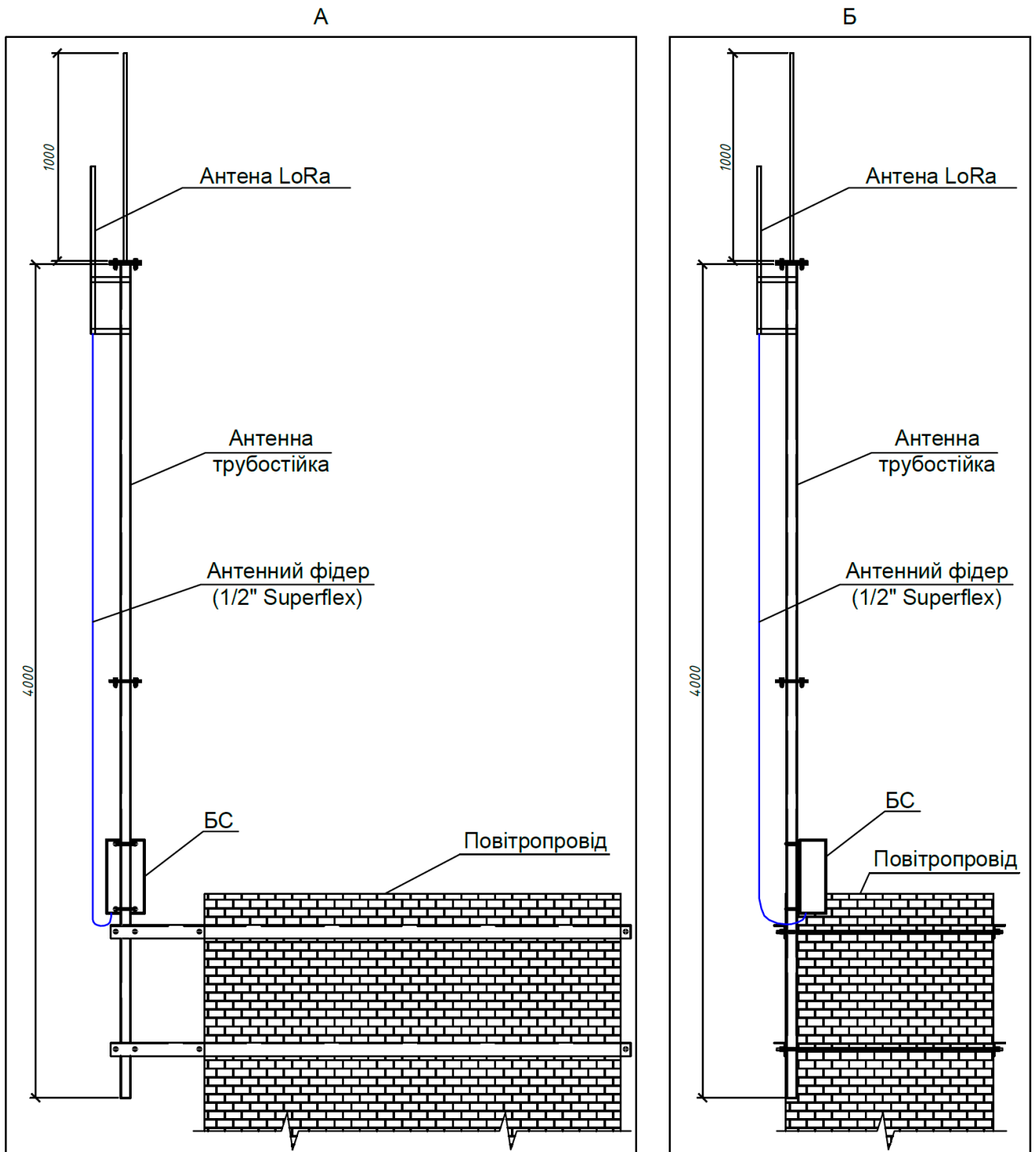


Рис. 3.4 (а) - Вид збоку встановлення БС на повітропроводі

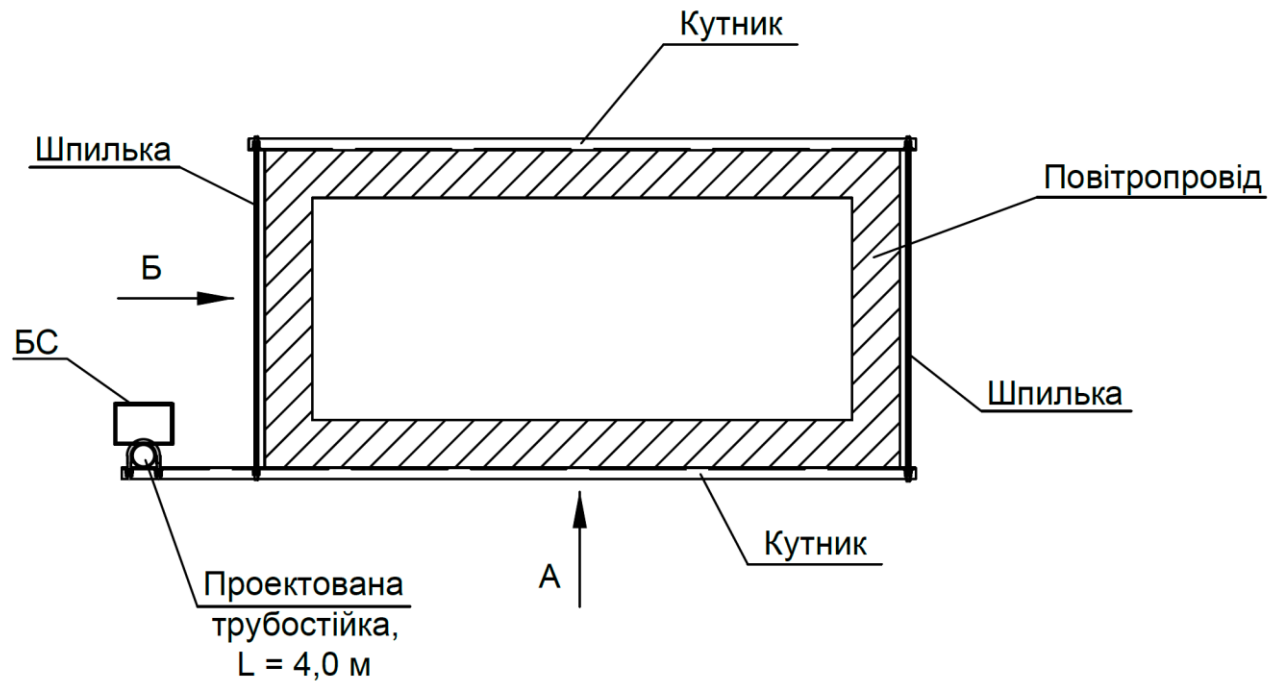


Рис. 3.4 (б) - Вид згори встановлення БС на повітропроводі

В обох випадках проєктом передбачено централізований підхід до монтажу, технічного обслуговування та перевірки стану обладнання з використанням системи диспетчерського керування та інструментів для віддаленого моніторингу. Такий підхід підвищує ефективність розгортання мережі та дозволяє виявляти проблеми на ранньому етапі, мінімізуючи простой та витрати на обслуговування.

3.6 Вибір сенсорного обладнання та вимірювальних параметрів

Одним із ключових елементів автоматизованої системи екологічного моніторингу є сенсорне обладнання. Саме з нього починається процес збору даних, що забезпечує наповнення всієї інформаційної системи достовірною, актуальною та детальною інформацією про стан довкілля в режимі реального часу.

У запропонованій системі сенсори відповідають за фіксацію параметрів атмосферного повітря (CO_2 , $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}), температури, вологості, шуму, рівня води та виявлення затоплення, стану каналізаційних люків, а також за визначення

ступеня заповненості контейнерів для сміття. Такі сенсори можуть бути встановлені як усередині приміщень, так і на відкритому повітрі — залежно від специфіки завдань.

Враховуючи масштаб міської інфраструктури та необхідність охоплення великої кількості контрольних точок, особливу увагу приділено енергоефективності сенсорів, їх стійкості до атмосферних впливів і сумісності з мережею LoRaWAN. Усі пристрої повинні працювати автономно щонайменше п'ять років, мати корпус із рівнем захисту не нижче IP65, а також підтримувати стійкий канал зв'язку на частоті 868 МГц.

Загальна логіка інтеграції сенсорного обладнання у структуру інформаційної системи зображена на рис. 3.5.

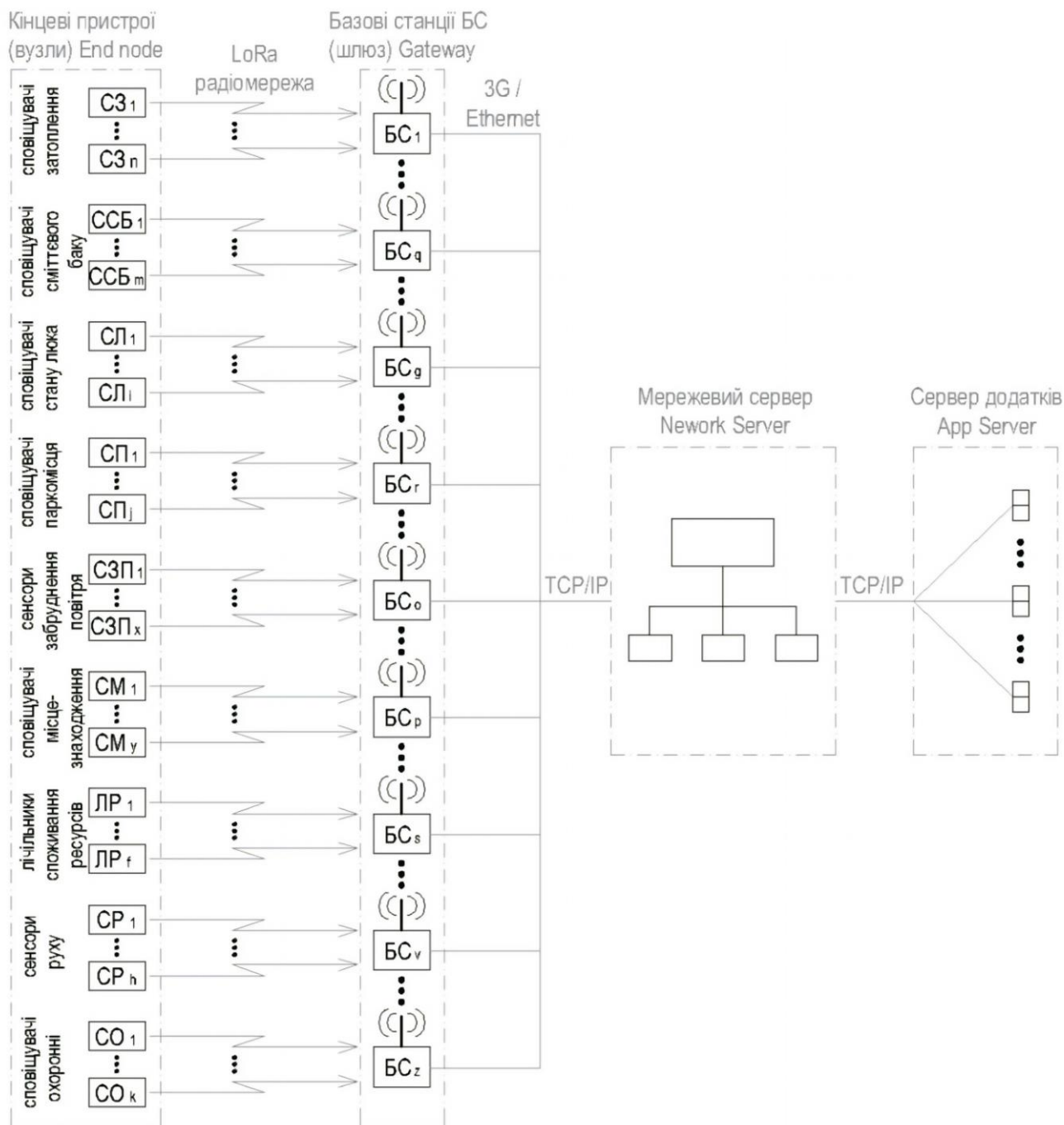


Рис. 3.5 - Структурна схема взаємодії сенсорного рівня з інформаційною системою на основі LoRaWAN

На схемі відображено ключові вузли, включаючи розташування польового обладнання, базових станцій, каналу зв'язку та серверної частини. Така структура дозволяє організувати масштабовану мережу екологічного моніторингу, здатну охопити не лише окремий район, а й місто в цілому.

У наступних пунктах докладніше розглянуто окремі моделі сенсорів, рекомендовані для реалізації даного проєкту, разом із прикладами їх встановлення, фотографіями, технічними характеристиками та описом функціональних можливостей.

3.6.1 Сенсор Tektelic KONA All-in-One Smart Room Sensor PIR

Сенсор Tektelic KONA All-in-One Smart Room Sensor PIR (рис. 3.6) є універсальним багатофункціональним пристроєм, призначеним для внутрішнього моніторингу мікроклімату та активності у приміщеннях. Він забезпечує одночасне зчитування кількох фізичних параметрів, що робить його ідеальним для застосування у розумних офісах, медичних установах, школах, адміністративних будівлях тощо.



Рис. 3.6 - Зовнішній вигляд сенсора Сенсор Tektelic KONA All-in-One Smart Room Sensor PIR

(<https://romsat.ua/sensor-all-in-one-pir-tektelic-smtpbeu868/>)

Серед вимірюваних параметрів - температура, вологість, рівень освітленості, атмосферний тиск, а також детекція присутності на основі інфрачервоного пасивного датчика руху (PIR). Пристрій має також вбудований акселерометр для виявлення нахилу або вібрації, що може бути використано як додатковий індикатор втручання чи змін умов середовища.

Компактний пластиковий корпус має стриманий дизайн і зручне кріплення на стіни або стелі. Живлення здійснюється від енергоємної батареї типу CR2477, що забезпечує автономну роботу до 5 років. Пристрій працює у мережах LoRaWAN, що гарантує стабільну бездротову передачу даних навіть у середовищах із низьким рівнем сигналу або значною кількістю перешкод.

Основні технічні характеристики:

- Тип сенсора: багатофункціональний (PIR, температура, вологість, освітленість, тиск);
- Радіозв'язок: LoRaWAN, частота 868 МГц;
- Дальність передачі: до 15 км (у відкритому середовищі);
- Тип живлення: батарея CR2477 (в комплекті);
- Термін автономної роботи: до 5 років;
- Розміри: 84×84×25 мм;
- Ступінь захисту корпусу: IP30 (внутрішнє використання);
- Монтаж: стеля, стіна або полиця.

Області застосування:

- Моніторинг параметрів комфорту в закритих приміщеннях;
- Виявлення присутності в кімнаті;
- Автоматизоване керування освітленням, вентиляцією або опаленням;
- Забезпечення відповідності нормам гігієни та безпеки;
- Збір статистики для оптимізації використання ресурсів у будівлях.

У рамках проєкту впровадження інформаційної системи моніторингу цей сенсор виконує роль ключового пристрою для збору внутрішніх екологічних показників, що можуть бути використані як для аналізу середовища, так і для активного керування інженерними системами будівель.

3.6.2 GPS-трекер Abeeway Compact Tracker DEABE500-189EU

Abeeway Compact Tracker DEABE500-189EU (рис. 3.7) - це багатоцільовий геолокаційний пристрій, що поєднує в собі модулі GPS, Wi-Fi, Bluetooth Low Energy (BLE) та LoRaWAN для максимально точної та енергоефективної навігації в умовах міської інфраструктури. Він дозволяє відстежувати рухомі об'єкти (транспортні засоби, інженерне обладнання, персонал), надаючи геодані в реальному часі.



Рис. 3.7 - GPS-трекер Abeeway Compact Tracker DEABE500-189EU

(<https://www.abeeway.com/compact-tracker/>)

Висока точність позиціонування забезпечується завдяки гібридному режиму локалізації, що дозволяє використовувати найоптимальніший спосіб фіксації координат залежно від умов (відкрита місцевість, щільна забудова, приміщення). Вбудовані сенсори руху, прискорення та температури додатково розширюють функціональність пристрою.

Корпус трекера виконаний у захищеному форм-факторі з рівнем герметизації IP68, що забезпечує його експлуатацію в складних погодних умовах, при трясці, пилу та волог. Універсальне кріплення дозволяє встановлювати його на будь-які об'єкти: транспорт, контейнери, будівельну техніку, генератори тощо. Живлення забезпечується трьома батареями AA (Li-SOCl₂), що дає до 5 років автономної роботи у LoRaWAN-мережі.

Технічні характеристики:

- Позиціонування: GPS, Wi-Fi, BLE;
- Радіозв'язок: LoRaWAN, 868 МГц;
- Акумулятор: 3×AA Li-SOCl₂;
- Автономність: до 5 років (у LoRaWAN-режимі);
- Ступінь захисту: IP68;
- Робочий температурний діапазон: –20 °С...+60 °С;
- Датчики: руху, акселерометр, температура.

Застосування:

- Відстеження муніципального транспорту;
- Контроль логістичних об'єктів (наприклад, контейнерів зі сміттям або водою);
- Безпека об'єктів критичної інфраструктури;
- Виявлення несанкціонованого переміщення обладнання.

Завдяки багатоканальній навігації та надійній LoRaWAN-передачі, Abeway Compact Tracker є ефективним рішенням для інтеграції у розумну міську інфраструктуру та інформаційні системи оперативного моніторингу.

3.6.3. Сповіщувач наповненості сміттьового баку NETOP Waste Bin Sensor

NETOP Waste Bin Sensor (рис. 3.8) - це ультразвуковий сенсор, призначений для визначення рівня заповненості сміттєвих контейнерів у міському середовищі. Він дозволяє відстежувати кількість твердих побутових відходів у баках у реальному часі, тим самим підвищуючи ефективність логістики вивезення сміття та покращуючи санітарний стан територій.



Рис. 3.8 - Сповіщувач наповненості сміттьового баку NETOP Waste Bin sensor
(<https://iotshop.co.th/th/products/product/2119-WASTE-BIN-SENSOR-NB>)

Пристрій встановлюється на внутрішній стороні кришки або верхньої частини контейнера та періодично вимірює відстань до поверхні відходів за допомогою ультразвукового променя. На основі отриманих даних сенсор розраховує відсоток заповнення баку і передає інформацію на сервер моніторингу через мережу LoRaWAN.

Корпус пристрою виготовлений із міцного пластику та має захист IP65, що дозволяє використовувати його на відкритому повітрі, незалежно від погодних умов. Сенсор працює на батареї типу Saft LS 14500, забезпечуючи до 5 років автономної роботи. Завдяки наявності акселерометра він також може реагувати на нахил або перекидання контейнера.

Технічні характеристики:

- Метод вимірювання: ультразвуковий;
- Діапазон: до 250 см (рекомендовано – 200 см);
- Точність: $\pm 1-2$ см;
- Радіозв'язок: LoRaWAN (868 МГц);
- Живлення: батарея Saft LS 14500;
- Автономність: до 5 років;
- Ступінь захисту: IP65;
- Додаткові функції: виявлення нахилу/удару (акселерометр).

Застосування:

- Контроль наповнення баків у дворах, парках, публічних просторах;
- Оптимізація маршрутів вивезення сміття;
- Запобігання переповненню та зменшення скарг мешканців;
- Автоматизація систем "розумного міста".

Інтеграція таких сенсорів у загальну LoRaWAN-мережу дозволяє міським службам приймати обґрунтовані рішення щодо частоти очищення, черговості контейнерів та розподілу ресурсів, що в кінцевому підсумку знижує витрати та підвищує якість обслуговування населення.

3.6.4. Промисловий сенсор Smartico Industrial Sensor LoRaWAN "IS-LR"

Smartico IS-LR (рис. 3.9) - це промисловий LoRaWAN-сенсор, який використовується для збору імпульсної або дискретної інформації з обладнання обліку (лічильників), контактних сповіщувачів (герконів), датчиків протікання або інших технічних джерел сигналу. Його універсальність полягає у можливості інтеграції до різних типів міської інфраструктури без зміни логіки роботи пристрою.

Сенсор передає інформацію на сервер у вигляді імпульсних подій або за розкладом. Це дозволяє фіксувати кількість спожитих ресурсів, відкриття/закриття

елементів конструкцій або аварійні стани — наприклад, затоплення. Завдяки герметичному корпусу (IP67) пристрій може експлуатуватись у каналізаційних камерах, технічних люках, підвалах і на відкритому повітрі.



Рис. 3.9 - Промисловий сенсор Smartico Industrial Sensor LoRaWAN "IS-LR"
(<https://smartico.biz/industrial-sensor/>)

Технічні характеристики:

- Вхід: 1×геркон або імпульсний (з гальванічною розв'язкою);
- Частота: LoRaWAN, 868 МГц;
- Живлення: батарея 3.6V (до 10 років автономності);
- Ступінь захисту: IP67;
- Робочий діапазон температур: $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \dots +75\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- Монтаж: на стіну, панель, кришку люка або корпус лічильника.

Сценарії застосування:

- моніторинг витрат води, електроенергії, тепла;
- контроль протікання в каналізаційних колекторах;
- виявлення несанкціонованого доступу до інженерних вузлів;
- інтеграція у вузли телеметрії "розумних будівель".

Smartico IS-LR — це гнучкий технічний модуль для розбудови LoRaWAN-інфраструктури міста. Його адаптивність дозволяє легко інтегрувати пристрій у різні частини міської екосистеми, підтримуючи як екологічний моніторинг, так і безпеку інженерних систем.

3.6.5 Сенсор стану каналізаційного люка (Dingtek DC413)

Сенсор Dingtek DC413 (рис. 3.10) призначений для виявлення відкриття або зсуву кришки люка, а також для моніторингу рівня води чи стічних вод у колодязях. Він інтегрує датчики рівня та руху, передаючи дані через мережу LoRaWAN до серверу додатків для подальшої обробки.



Рис. 3.10 - Сенсор стану каналізаційного люка Dingtek DC413

(<https://www.thethingsnetwork.org/device-repository/devices/dingtek/dc413/>)

Основні технічні характеристики:

- Тип датчика: рівень, рух
- Корпус: IP68
- Розміри: діаметр 115 мм, висота 40 мм
- Температурний діапазон: -20°C до $+70^{\circ}\text{C}$
- Вага: 150 г
- Частотні діапазони: AS923, AU915-928, CN470-510, EU863-870, IN865-867, RU864-870, US902-928

Переваги використання:

- Надійний захист: Корпус з класом захисту IP68 забезпечує стійкість до пилу та вологи, що дозволяє використовувати сенсор у складних умовах.
- Довготривала автономна робота: Завдяки низькому енергоспоживанню та використанню батареї з великим ресурсом, сенсор може працювати автономно протягом кількох років.
- Широкий температурний діапазон: Пристрій здатний функціонувати в умовах екстремальних температур, що робить його придатним для використання в різних кліматичних зонах.

Використання Dingtek DC413 у системі моніторингу дозволяє оперативно виявляти несанкціоноване відкриття люків або підвищення рівня води, що є критично важливим для запобігання аварійним ситуаціям та забезпечення безпеки міської інфраструктури.

3.6.6 Сенсор виявлення затоплення (Dragino LWL02)

Сенсор Dragino LWL02 (рис. 3.11) призначений для виявлення наявності води між двома металевими контактами. При виявленні води сенсор миттєво передає сигнал через мережу LoRaWAN до центрального серверу, що дозволяє оперативно реагувати на потенційні загрози затоплення.



Рис. 3.11 - Сенсор виявлення затоплення Dragino LWL02

(<https://www.dragino.com/products/lorawan-nb-iot-door-sensor-water-leak/item/180-lwl02.html>)

Основні технічні характеристики:

- Тип датчика: виявлення витоку води
- Протокол зв'язку: LoRaWAN v1.0.3, Class A
- Частотні діапазони: EU868, US915, AS923 та інші
- Живлення: 2 x AAA батареї
- Термін служби батареї: від 2 до 10 років (залежно від частоти передачі даних)
- Розміри: 64 x 30 x 14 мм
- Температурний діапазон роботи: від -20°C до +60°C
- Клас захисту: IP67

Переваги використання:

- Компактний розмір: дозволяє встановлювати сенсор у важкодоступних місцях.

- Довготривала автономна робота: забезпечує безперервний моніторинг без необхідності частого обслуговування.
- Широкий температурний діапазон: дозволяє використовувати сенсор в різних кліматичних умовах.
- Високий клас захисту: забезпечує надійну роботу навіть у вологих умовах.

Впровадження Dragino LWL02 у систему моніторингу дозволяє своєчасно виявляти витoki води або затоплення, що є критично важливим для запобігання пошкодженням інфраструктури та забезпечення безпеки в міському середовищі.

3.6.7 Сенсор забруднення повітря (Atomsenses ES-108)

Сенсор Atomsenses ES-108 (рис. 3.12) призначений для комплексного моніторингу якості повітря, включаючи вимірювання концентрацій дрібнодисперсних частинок (PM1.0, PM2.5, PM10), а також газів, таких як CO, NO₂, HCHO, NH₃, H₂S, CO₂, TVOC. Пристрій також вимірює температуру та вологість, що дозволяє отримати повну картину стану повітря в приміщенні.



Рис. 3.12 - Сенсор забруднення повітря Atomsenses ES-108

(<https://www.senso8.com/senso8-indoor-air-quality-sensors>)

Основні технічні характеристики:

- Тип датчика: мультисенсорний (11-в-1)
- Протокол зв'язку: LoRaWAN
- Живлення: вбудований акумулятор з автономною роботою до 5 років
- Розміри: $125 \times 125 \times 28.5$ мм
- Температурний діапазон роботи: від -20°C до $+60^{\circ}\text{C}$
- Клас захисту: IP65

Переваги використання:

- Комплексний моніторинг: одночасне вимірювання широкого спектру параметрів якості повітря.
- Довготривала автономна робота: забезпечує безперервний моніторинг без необхідності частого обслуговування.
- Широкий температурний діапазон: дозволяє використовувати сенсор в різних кліматичних умовах.
- Високий клас захисту: забезпечує надійну роботу навіть у складних умовах.

Впровадження Atomsenses ES-108 у систему моніторингу дозволяє своєчасно виявляти та реагувати на зміни якості повітря, що є критично важливим для запобігання негативному впливу на здоров'я населення та забезпечення безпеки в міському середовищі.

3.6.8 Лічильник споживання електроенергії (Eastron SDM230-Lora)

Лічильник Eastron SDM230-Lora (рис. 3.13) призначений для вимірювання активної та реактивної енергії, струму, напруги, потужності, коефіцієнта потужності та частоти в однофазних електричних мережах. Завдяки інтеграції з протоколом LoRaWAN, пристрій забезпечує бездротову передачу даних на великі

відстані з низьким енергоспоживанням, що робить його ідеальним для застосування в системах розумного обліку та енергоменеджменту.



Рис. 3.13 - Лічильник споживання електроенергії Eastron SDM230-Lora
(<https://www.eastrongroup.com/product/iot-solutions/single-phase-lorawan-multifunction-energy-meter-for-iot-solutions.html>)

Основні технічні характеристики:

- Тип лічильника: однофазний багатофункціональний лічильник
- Протокол зв'язку: LoRaWAN
- Діапазон струму: до 100 А
- Напруга: 220 В
- Клас точності: 1
- Частота: 50 Гц
- Клас захисту: IP51
- Монтаж: на DIN-рейку
- Додаткові функції: попередня оплата, дистанційне керування

Переваги використання:

- Точність та надійність: Високий клас точності забезпечує достовірні дані для аналізу споживання електроенергії.
- Бездротова передача даних: Інтеграція з LoRaWAN дозволяє передавати дані на великі відстані без необхідності прокладання додаткових кабелів.
- Гнучкість у встановленні: Компактний розмір та монтаж на DIN-рейку спрощують інтеграцію в існуючі системи.
- Додаткові функції: Можливість попередньої оплати та дистанційного керування споживанням електроенергії.

Використання Eastron SDM230-Lora у системах моніторингу енергоспоживання дозволяє підвищити ефективність управління ресурсами, своєчасно виявляти аномалії та оптимізувати витрати на електроенергію.

3.6.9 Сенсор руху (MOKOSmart LW007-PIR)

Сенсор MOKOSmart LW007-PIR (рис. 3.14) є пасивним інфрачервоним (PIR) датчиком, який виявляє рух або присутність у межах зони покриття. Крім того, він оснащений магнітним сенсором для виявлення відкриття/закриття дверей, а також датчиками температури та вологості, що дозволяє здійснювати комплексний моніторинг навколишнього середовища.

Основні технічні характеристики:

- Тип датчика: PIR, магнітний сенсор дверей, температура, вологість
- Протокол зв'язку: LoRaWAN V1.0.3
- Частотні діапазони: EU868, US915, AS923 та інші
- Живлення: 2 x AA батареї ER14505 5200 мА·год
- Розміри: 70 x 50 x 38 мм
- Температурний діапазон роботи: від -30°C до +60°C
- Діапазон вологості: 0% – 95%
- Методи встановлення: двосторонній скотч, гвинти



Рис. 3.14 – Сенсор руху MOKOSmart LW007-PIR

(<https://www.mokosmart.com/lorawan-pir-motion-sensor-lw007-pir/>)

Переваги використання:

- Багатофункціональність: поєднання декількох сенсорів в одному пристрої дозволяє здійснювати комплексний моніторинг.
- Довготривала автономна робота: завдяки низькому енергоспоживанню та використанню батарей великої ємності.
- Широкий температурний та вологісний діапазон: забезпечує надійну роботу в різних умовах.
- Гнучкі методи встановлення: дозволяють легко інтегрувати сенсор у різні середовища.

Використання MOKOSmart LW007-PIR у системах моніторингу дозволяє своєчасно виявляти рух, зміни стану дверей, а також контролювати параметри навколишнього середовища, що є важливим для забезпечення безпеки та комфорту в різних приміщеннях.

3.6.10 Сенсор охорони (Dragino LDS02)

Сенсор Dragino LDS02 (рис. 3.15) призначений для моніторингу стану дверей або вікон, виявляючи їх відкриття чи закриття. Завдяки використанню LoRaWAN-технології, пристрій забезпечує бездротову передачу даних на великі відстані з низьким енергоспоживанням, що робить його ідеальним для застосування в системах охорони та безпеки.



Рис. 3.15 - Сенсор охорони Dragino LDS02

(<https://www.dragino.com/products/lorawan-nb-iot-door-sensor-water-leak/item/181-lds02.html>)

Основні технічні характеристики:

- Тип датчика: магнітний контактний сенсор для виявлення відкриття/закриття
- Протокол зв'язку: LoRaWAN
- Частотні діапазони: EU868, US915, AS923 та інші

- Живлення: 2 х AAA батареї
- Термін служби батареї: від 2 до 10 років (залежно від частоти передачі даних)
- Розміри: 64 х 30 х 14 мм
- Температурний діапазон роботи: від -20°C до +60°C
- Клас захисту: IP67

Переваги використання:

- Компактний розмір: дозволяє встановлювати сенсор у важкодоступних місцях.
- Довготривала автономна робота: забезпечує безперервний моніторинг без необхідності частого обслуговування.
- Широкий температурний діапазон: дозволяє використовувати сенсор в різних кліматичних умовах.
- Високий клас захисту: забезпечує надійну роботу навіть у вологих умовах.

Впровадження Dragino LDS02 у систему охорони дозволяє своєчасно виявляти несанкціоноване відкриття дверей або вікон, що є критично важливим для забезпечення безпеки в житлових, комерційних та промислових об'єктах.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

4.1. Обґрунтування вибору апаратної та програмної частини

Для забезпечення ефективного функціонування інформаційної системи екологічного моніторингу в місті Києві було обґрунтовано вибір апаратного та програмного забезпечення, яке дозволяє реалізувати основні функціональні вимоги до збору, збереження, обробки, візуалізації та передавання екологічних даних у реальному часі. Обґрунтування здійснювалося на основі технічної документації та ескізного проєкту побудови бездротової мережі на базі технології LoRaWAN.

У якості серверної інфраструктури передбачено використання серверної частини на базі DELL VSAN Ready Node R640, яка відповідає вимогам щодо продуктивності, масштабованості та резервування. Це рішення дозволяє формувати кластерну інфраструктуру з підтримкою високої доступності — «архітектура мережевого серверу та серверу додатків використовує резервування за схемою N+1 та дозволяє підтримувати працездатність кластеру навіть при втраті одного з вузлів».

Мережевий сервер виконує функції керування кінцевими пристроями, а сервер додатків — обробку та візуалізацію даних. Як зазначено у технічному рішенні, «мережевий сервер призначений для керування радіо модулем та кінцевими пристроями... зв'язком з сервером додатків», а «сервер додатків призначений для отримання даних від кінцевих пристроїв, проведення аналізу даних та їх візуалізацію».

Програмне забезпечення має клієнт-серверну архітектуру з підтримкою веб-інтерфейсу та відповідає сучасним стандартам безпеки. Воно функціонує в середовищі CentOS для серверної частини та браузерів Chrome або FireFox для клієнтів. Як зазначено в документації, «серверне ПЗ поставляється у вигляді файлів, готових до розгортання на віртуальній структурі VMware ESX».

Серед функцій, реалізованих програмною частиною системи:

- збір та збереження екологічних даних;
- автоматична фільтрація, логування подій та сигналів тривоги;
- формування звітів і візуалізація даних;
- централізоване керування конфігураціями;
- можливість оновлення ПЗ та мікропрограмного забезпечення для віддалених пристроїв;
- захист даних від несанкціонованого доступу.

Ці функції підтверджені в пункті «Вимоги до програмного забезпечення», де зазначено: «комплексне керування безпекою», «централізоване керування конфігурацією», «підтримка логування, фільтрації, генерації тривог» та «автоматичне оновлення віддалених кінцевих точок».

Таким чином, обраний апаратно-програмний комплекс дозволяє реалізувати надійну, захищену та масштабовану систему моніторингу, адаптовану до міських умов, що включає як стаціонарні, так і потенційно мобільні пункти збору даних.

4.2 Орієнтовна оцінка витрат на впровадження системи

Розгортання опорної безпроводової мережі для системи екологічного моніторингу на основі технології LoRaWAN у місті Києві передбачає поетапну реалізацію, що включає як закупівлю обладнання, так і роботи з монтажу, налаштування та інтеграції. Згідно з ескізним проєктом та технічним звітом, розробленим у 2019 році ТОВ «БІЛІНТЕХ УКРАЇНА», для забезпечення покриття не менше ніж 70% території міста необхідно встановити 410 базових станцій. Вартість впровадження розраховується на підставі кількості так званих «пускових комплексів», кожен з яких відповідає одній базовій станції, що дозволяє модульно масштабувати мережу та спростити контроль витрат на кожному етапі.

Етапи впровадження передбачають, що до початку основного монтажу має бути встановлена серверна частина, змонтований центр збору та обробки даних, інстальоване і налаштоване технологічне програмне забезпечення. Також необхідне підключення кожного пускового комплексу до систем електроживлення,

заземлення та блискавкозахисту. Саме це обладнання становить базову інфраструктуру для нормального функціонування всієї системи.

У звіті зазначено, що розрахункова кількість базових станцій для різних адміністративних районів Києва є наступною: 59 — у Шевченківському, 48 — у Деснянському, 46 — у Солом'янському, 45 — у Дніпровському, 39 — у Голосіївському, 38 — у Печерському, 37 — у Святошинському, 34 — у Дарницькому, 33 — у Подільському, 31 — у Оболонському районах міста.

Враховуючи, що один пусковий комплекс складається зі шлюзу (gateway), антени, інжектора живлення, кабельної інфраструктури, монтажних матеріалів і витрат на проєктні роботи, загальна орієнтовна вартість одного такого вузла може становити близько 2 000–2 500 USD (за станом цін на час підготовки технічного звіту). У такому разі повна вартість побудови мережі з 410 базових станцій орієнтовно становить від 820 000 до 1 025 000 USD. Витрати на серверну частину та програмне забезпечення не включені в дану оцінку, оскільки вони залежать від конфігурації центру збору даних, потреб резервування та масштабування мережі.

Також важливо враховувати потенційне зменшення витрат завдяки розміщенню обладнання на об'єктах, що перебувають у комунальній власності, що знижує необхідність в орендних платежах. Такий підхід дозволяє значно скоротити строки реалізації проєкту і забезпечити економічну ефективність його впровадження.

Таким чином, орієнтовна оцінка витрат базується на реалістичних техніко-економічних параметрах, які вже були враховані під час проєктування мережі. Ці витрати можуть коригуватись залежно від конкретної конфігурації системи, кількості вузлів, вибору постачальників обладнання та умов виконання монтажних робіт.

4.3. Порівняльний аналіз вартості аналогічних рішень

Однією з важливих складових техніко-економічного обґрунтування є зіставлення вартості розроблюваної інформаційної системи на основі технології LoRaWAN з альтернативними рішеннями, які можуть бути використані для досягнення аналогічних цілей. У цьому контексті особливу увагу варто звернути на порівняння витрат на обладнання, інфраструктуру, експлуатаційні витрати та розширення системи для різних типів технологій передачі даних.

Основні порівнювані варіанти:

- LoRaWAN (розглядувана технологія);
- NB-IoT (мережа стільникового оператора з низьким енергоспоживанням);

- ZigBee (короткодистанційна технологія для локальних мереж);

- Wi-Fi (традиційні мережі з високою пропускнуою здатністю).

Для побудови об'єктивної оцінки було враховано такі показники:

- початкові інвестиції на розгортання 1 базової станції;
- середня кількість обслуговуваних пристроїв на 1 вузол;
- середня вартість підключення одного сенсора;
- витрати на технічне обслуговування протягом одного року;
- орієнтовний строк служби обладнання;
- необхідність ліцензій або плата за користування радіочастотним ресурсом.

У результаті зіставлення сформовано узагальнену таблицю 4.1.

Таблиця 4.1

Показник	LoRaWAN	NB-IoT	ZigBee	Wi-Fi
Вартість БС	≈ 800–1000 €	≈ 1500–2000 €	≈ 200–400 €	≈ 300–600 €
Радіус дії	до 5 км (місто)	до 10 км	до 100 м	до 150 м
Обслуговування (рік)	низьке	середнє	високе	високе
Ліцензування частот	не потрібно	потрібно	не потрібно	не потрібно
Енергоспоживання сенсора	дуже низьке	низьке	середнє	високе
Надійність зв'язку	висока	висока	середня	середня
Кількість сенсорів на 1 БС	1000+	500–700	50–100	50–100

За результатами аналізу видно, що LoRaWAN має найкраще співвідношення вартості до масштабованості, особливо в умовах великого міста, де важлива автономність сенсорів та ширина покриття. NB-IoT потребує залучення оператора зв'язку, а Wi-Fi та ZigBee не придатні для розподілених систем з великою площею покриття.

Таким чином, вибір на користь LoRaWAN є обґрунтованим не лише з технологічного, а й з економічного погляду.

5 ЗАХОДИ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

5.1. Оцінка умов праці при монтажі та експлуатації обладнання

Процес впровадження системи LoRaWAN в міському середовищі супроводжується низкою виробничих, кліматичних та техногенних факторів, які необхідно враховувати при монтажі та подальшій експлуатації обладнання. В першу чергу мова йде про дотримання вимог охорони праці, безпеки персоналу та адаптації технічних рішень до умов навколишнього середовища.

Під час виконання монтажних робіт основними ризиками є роботи на висоті, електробезпека, вплив погодних умов, а також імовірність виникнення нештатних ситуацій при підключенні обладнання. Як зазначено у проєктній документації, перед початком монтажних робіт слід виконати комплекс заходів з перевірки готовності приміщень і місць установки (в тому числі дахів і фасадів будівель), а також забезпечити відповідність нормам пожежної безпеки та охорони праці.

У місцях встановлення базових станцій наявні електромагнітні поля від працюючого устаткування. Характеристики середовища включають температуру в діапазоні від -25°C до $+45^{\circ}\text{C}$, відносну вологість до 98%, сильні пориви вітру, атмосферні опади, снігові навантаження та конденсовані опади у вигляді роси чи інію.

Устаткування встановлюється в середовищі, що не містить вибухонебезпечних, струмопровідних або агресивних сумішей. Це дозволяє уникати потреби в застосуванні спеціального захисного устаткування, проте вимагає високої надійності монтажу з урахуванням впливу зовнішніх чинників.

Режим роботи системи — цілодобовий. Це означає, що обслуговуючий персонал повинен бути забезпечений належним рівнем доступу до об'єктів у будь-який час доби, а самі об'єкти — оснащені резервними джерелами живлення, заземленням і блискавкозахистом.

В цілому, умови праці персоналу під час впровадження та експлуатації системи LoRaWAN відповідають вимогам до інженерних робіт у міському середовищі за умови дотримання чинних правил техніки безпеки, інструкцій виробника обладнання та передбачених заходів охорони праці.

5.2. Заходи електробезпеки, пожежної безпеки, заземлення

Під час реалізації проєкту впровадження інформаційної системи моніторингу на основі технології LoRaWAN в межах міста Києва значну увагу слід приділяти питанням безпеки – як електричної, так і пожежної. Монтаж і експлуатація обладнання передбачає взаємодію з елементами, що знаходяться під напругою, тому дотримання відповідних вимог чинного законодавства та нормативних документів є обов’язковим.

Монтажні роботи мають здійснюватися після обов’язкової перевірки приміщень і обладнання на відповідність вимогам ПУЕ, ПБЕЕС, ДСТУ, ВСН 600-81 та іншої нормативної бази. У документі наголошується: «Перед початком монтажних робіт необхідно перевірити готовність приміщень та, у випадку необхідності, виконати повний комплекс робіт щодо забезпечення вимог норм та правил з техніки безпеки, пожежної безпеки, охорони праці».

Для запобігання пошкодженням від атмосферних розрядів конструкцією передбачено реалізацію системи блискавкозахисту (рис. 5.1).

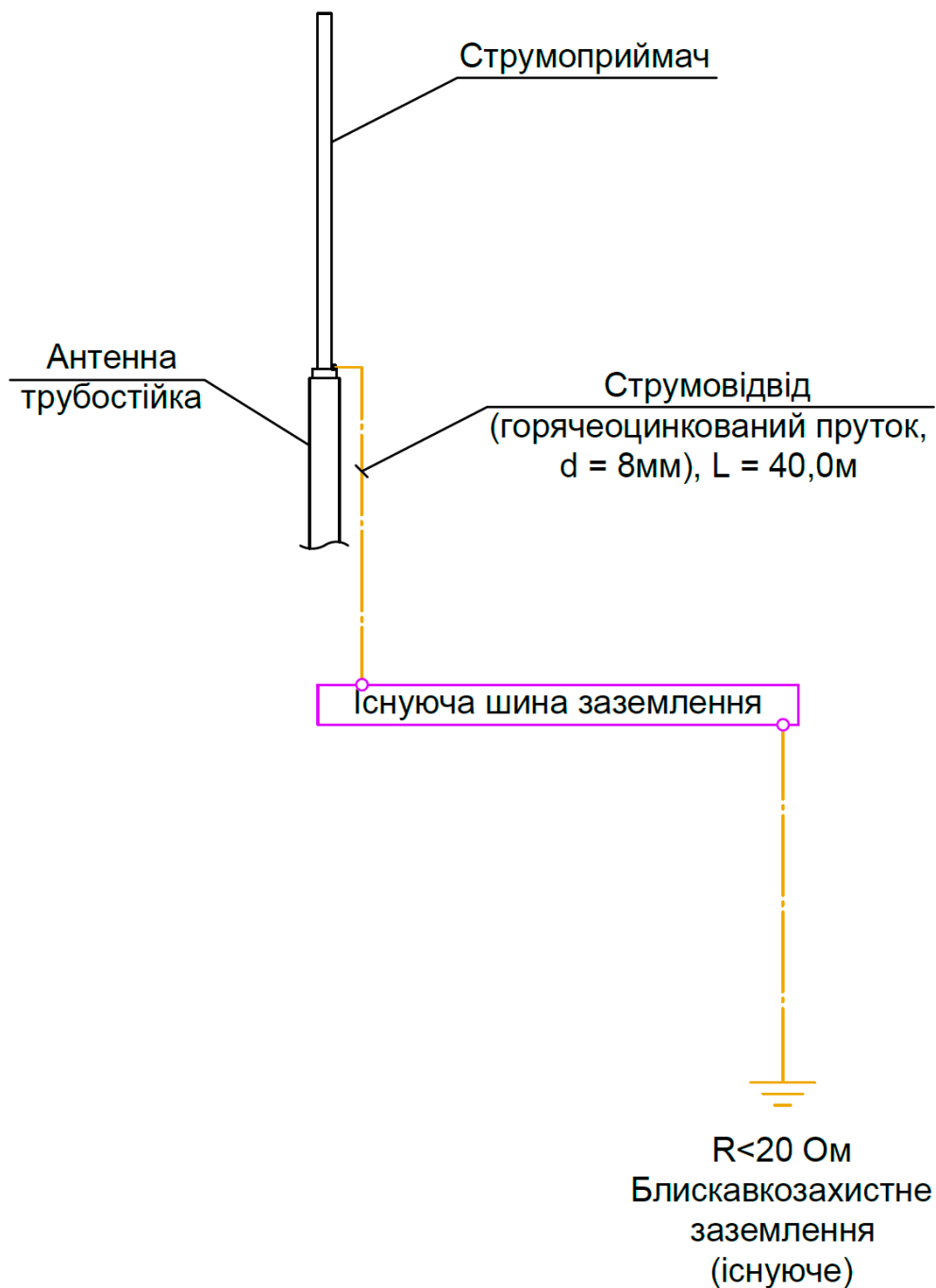


Рис. 5.1 - Структурна схема блискавкозахисту

Для ефективної експлуатації обладнання системи моніторингу на базі LoRaWAN важливо забезпечити правильне встановлення та внутрішнє компонування комутаційних шаф. Такі шафи зазвичай монтуються в технічних приміщеннях або на дахах будівель, які відповідають вимогам безпеки, доступності та технічного обслуговування. На рисунку 5.2 представлено типовий приклад

розміщення комутаційної шафи, що може бути адаптований під конкретні умови встановлення.

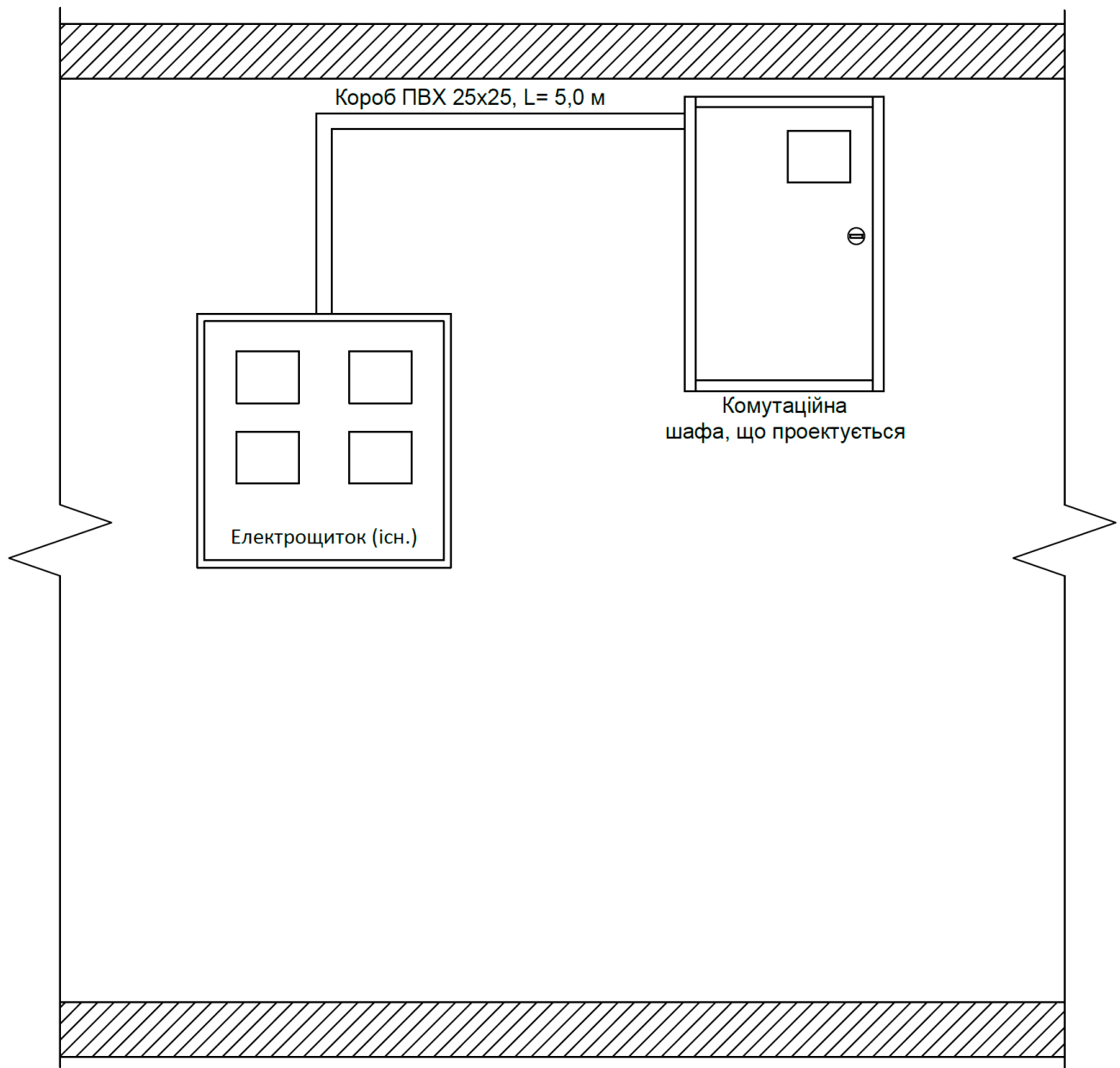


Рисунок 5.2 - Типовий план встановлення комутаційної шафи

Усередині шафи монтуються основні елементи живлення та зв'язку: силовий блок, інжектор РоЕ, розгалужувальні клеми, автоматика захисту та опорна апаратура для підключення базової станції. Загальна логіка розміщення внутрішнього обладнання представлена на рисунку 5.3, що також є типовим рішенням для даної категорії інсталяцій.

Фасад (двері умовно не показані)

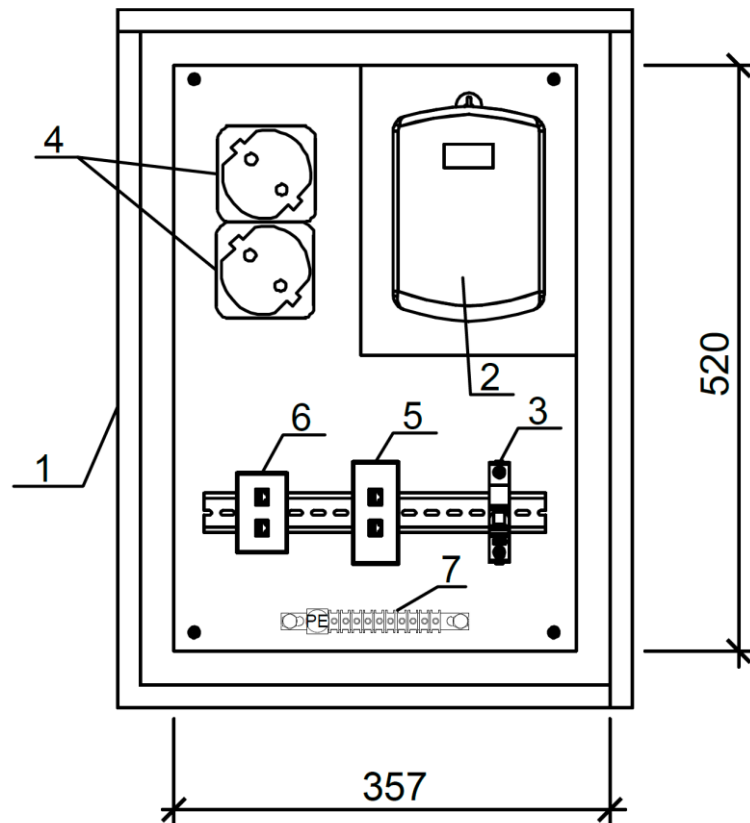


Рисунок 5.3 - Типовий план розміщення обладнання в комутаційній шафі

Схема комутаційної шафи включає такі елементи: шафа комутаційна розміром 520×357×148 мм (поз. 1), лічильник електроенергії (поз. 2), автоматичний вимикач на 10 А (поз. 3), дві розетки на DIN-рейку (поз. 4), PoE-інжектор (поз. 5), пристрій грозозахисту PoE (поз. 6), а також дві клемні колодки (поз. 7). Усі елементи встановлюються згідно з технічними вимогами безпеки та забезпечують коректне функціонування мережевого обладнання в складі системи моніторингу.

У контексті електробезпеки комутаційна шафа обов'язково приєднується до захисного контуру заземлення будівлі. Для цього передбачено окрему шину, яка під'єднується до загального заземлення. Схематичне рішення для реалізації цього підключення наведено на рисунку 5.4.

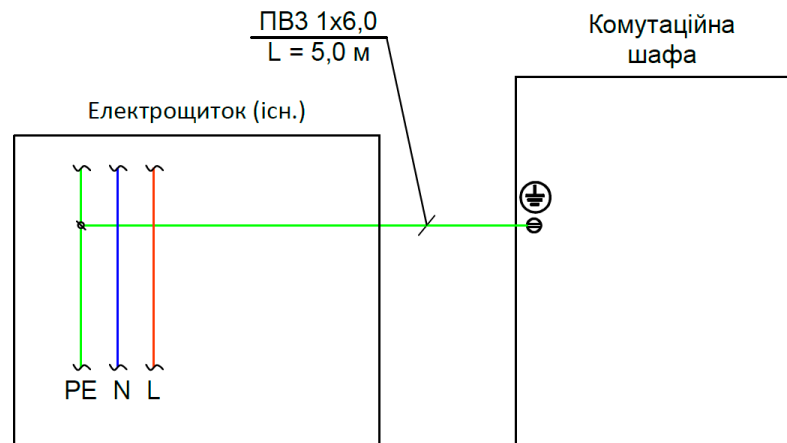


Рис. 5.4 - Схема заземлення комутаційної шафи

Також заземленню підлягають зовнішні конструктивні елементи антенної системи. Трубостійка та корпус базової станції заземлюються окремо з урахуванням розподілу потенціалів і технічних норм. Відповідне рішення ілюструється на рисунку 5.5.

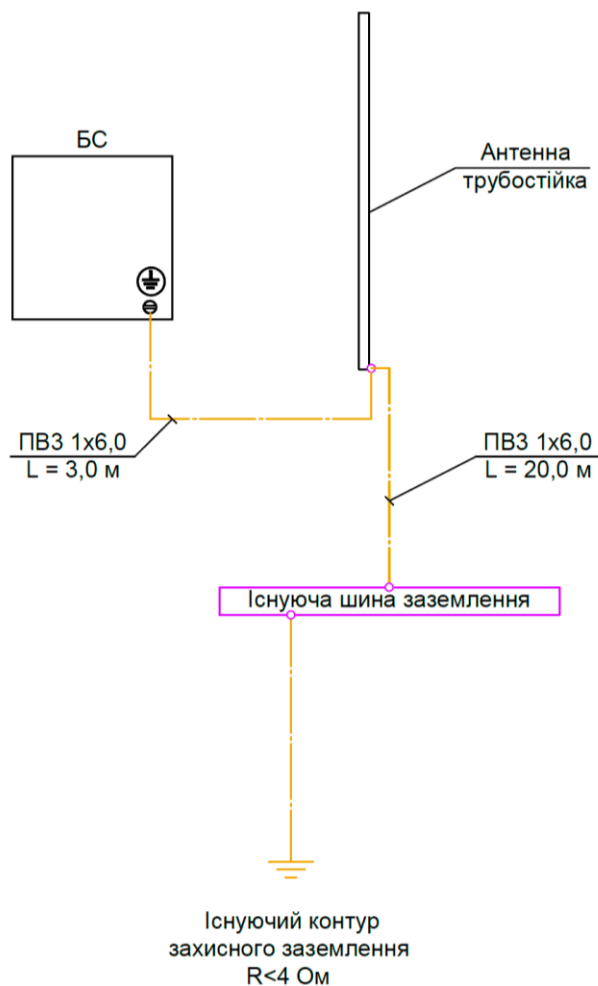


Рис. 5.5 - Схема заземлення антенної трубостійки та БС

Установлення обладнання має проводитися з використанням таких засобів індивідуального та колективного захисту:

- діелектричних гумових килимків;
- інструменту з ізольованими ручками;
- щитків для підключення електроламп напругою не вище 24 В;
- наявної системи пожежної сигналізації;
- технічних меблів для обслуговування стійок та модулів.

Особливу увагу слід приділити електробезпеці: «Електромонтажні роботи в приміщенні діючої АТС необхідно виконувати після зняття напруги з усіх струмопровідних частин, розміщених в зоні виконання робіт, їх роз'єднання із забезпеченням видимих розривів електричного ланцюга та заземлення роз'єднаних струмопровідних частин».

Система заземлення має відповідати ПУЕ (Правила улаштування електроустановок): «існуюче захисне заземлення повинне відповідати вимогам ПУЕ». У разі потреби, передбачено встановлення нового заземлення згідно з проєктною документацією.

Для забезпечення пожежної безпеки проєктна документація передбачає використання негорючих матеріалів та організацію вогнестійких введів для кабелів. Усі роботи повинні проводитися тільки на справному обладнанні, з обов'язковим дотриманням інструкцій виробника.

Організація стабільного живлення базових станцій виконується згідно з типовою структурною схемою комплексу технічних засобів електроживлення (рис. 5.6).

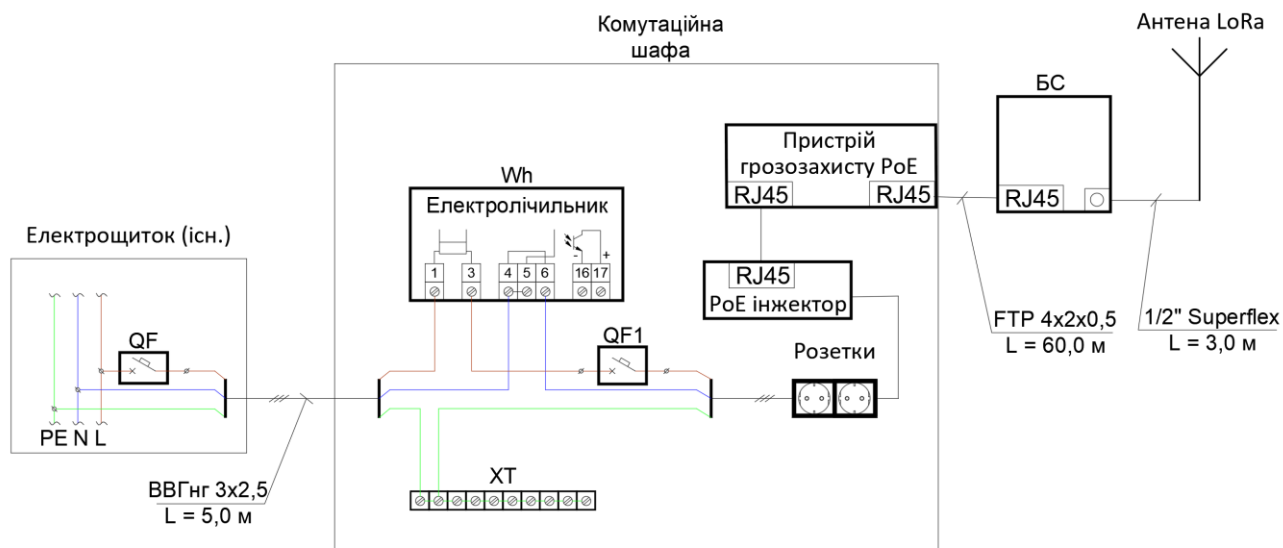


Рис. 5.6 - Структурна схема комплексу технічних засобів електроживлення БС

Комплекс заходів охоплює також:

- обов'язкове навчання персоналу з техніки безпеки;
- інструктажі перед початком робіт;
- дотримання вимог до ширини проходів та відстаней між елементами обладнання;
- використання захисту очей при роботах з утворенням пилу або іскор.

У підсумку, впровадження інформаційної системи вимагає дотримання комплексу вимог до електробезпеки, охорони праці та протипожежного захисту, що регламентуються чинними нормативами. Це забезпечує надійність функціонування обладнання та захист персоналу.

5.3. Екологічна безпека функціонування системи

Функціонування інформаційної системи екологічного моніторингу на основі LoRaWAN у межах міста Києва не створює суттєвого навантаження на довкілля, оскільки всі її компоненти відповідають принципам екологічної безпеки. Це досягається завдяки декільком ключовим особливостям архітектури системи.

По-перше, передбачене використання енергоефективних сенсорів, що мають наднизьке споживання енергії. Наприклад, LoRaWAN-модем у режимі сну споживає лише 200 нА, а в режимі передачі – від 40 мА. Це дозволяє забезпечити автономну роботу пристроїв протягом до 10 років, зменшуючи потребу в регулярному технічному обслуговуванні й заміні батарей, а отже – зменшує обсяг потенційних відходів і знижує вуглецевий слід технічної інфраструктури.

По-друге, система побудована за принципом мінімального впливу на навколишнє середовище. Встановлення пристроїв здійснюється переважно на існуючій міській інфраструктурі (освітлювальні опори, фасади будівель тощо), що виключає необхідність додаткового будівництва і порушення зелених зон. Всі компоненти системи мають обмежені габарити та вагу, що знижує ризики механічного втручання в екосистему міста.

Крім того, передбачено суворе дотримання нормативів безпеки щодо електромагнітного випромінювання. Технологія LoRaWAN функціонує у відкритому діапазоні частот з мінімальною потужністю передавачів, що гарантує безпечний рівень впливу на біологічні об'єкти та здоров'я мешканців.

У проєктній документації зазначено, що система повинна функціонувати у відповідності до національних стандартів екологічної безпеки. Зокрема, передбачено, що обробка та зберігання екологічної інформації відбувається на захищених серверах у межах території України, що мінімізує ризики несанкціонованого доступу та маніпуляцій з екологічними даними.

Важливою складовою є наявність можливостей оперативного реагування. У разі фіксації критичного рівня забруднення система автоматично генерує сповіщення для відповідних служб, що дозволяє своєчасно впливати на потенційні джерела небезпеки та мінімізувати екологічні наслідки.

Таким чином, запропонована інформаційна система моніторингу довкілля у місті Києві відповідає ключовим вимогам екологічної безпеки, мінімізує вплив на природу, сприяє своєчасному реагуванню на загрози та є інструментом сталого управління міським середовищем.

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було виконано повний цикл розробки концепції інформаційної системи екологічного моніторингу та сповіщення на основі технології LoRaWAN для міста Києва. Реалізація даної ініціативи пов'язана з потребою переходу на новий рівень цифрового управління станом довкілля, що є особливо актуальним у сучасних умовах урбанізації, техногенного навантаження та екологічних викликів.

Проведено аналіз сучасного стану інформаційних систем моніторингу, класифіковано їх за функціональним призначенням, а також досліджено ключові технології передачі даних, зокрема LoRaWAN, NB-IoT, ZigBee та Wi-Fi. Обґрунтовано переваги технології LoRaWAN, серед яких — висока енергоефективність, можливість автономної роботи до 10 років, стійкість до перешкод, широкий радіус дії, відкрита архітектура та масштабованість. Саме ці характеристики забезпечують доцільність її впровадження для екологічного моніторингу у великому місті.

У ході аналітичного етапу роботи було вивчено екологічну ситуацію, існуючу інфраструктуру та технічну базу міста Києва, зокрема дані про розміщення наявних стаціонарних постів, каналів зв'язку та технічні обмеження. На основі зібраної інформації сформульовано вимоги до нової системи, що охоплюють технічні, функціональні та організаційні аспекти.

В рамках конструктивного етапу проєкту розроблено структурну та архітектурну моделі системи, з урахуванням особливостей міської інфраструктури та вимог до безпеки. Визначено склад обладнання, алгоритми функціонування та засоби інтеграції з іншими цифровими системами управління міста. Представлено технічну діаграму взаємодії компонентів, схему архітектури та описано логіку передачі та обробки даних у межах системи.

Техніко-економічна частина проєкту продемонструвала доцільність впровадження системи з точки зору витрат на встановлення та експлуатацію,

порівняно з альтернативними рішеннями. Було виконано базову оцінку витрат та розраховано орієнтовні витрати на запуск базової конфігурації мережі в межах міста Києва.

У розділі, присвяченому охороні праці та екологічній безпеці, визначено основні ризики під час монтажу, обслуговування та експлуатації обладнання. Надано рекомендації щодо дотримання електробезпеки, пожежної безпеки, заземлення та екологічних норм.

Таким чином, реалізація запропонованої системи дозволить:

- підвищити якість збору та обробки екологічних даних;
- забезпечити оперативне реагування на екологічні загрози;
- зменшити витрати на технічне обслуговування;
- створити основу для розширення інформаційної інфраструктури міста.

Результати роботи можуть бути використані як методична база для реалізації подібних проєктів у інших містах України або для масштабування системи в межах всієї столиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технічне завдання на створення автоматизованої інформаційної системи моніторингу та сповіщення на базі LoRaWAN. – Київ: ВО КМДА, 2021. – 23 с.
2. Проектна документація: Книга 1. Архітектура, функціонування та вимоги до інформаційної системи LoRaWAN. – ТОВ «БІЛІНТЕХ УКРАЇНА», 2021. – 67 с.
3. Проектна документація: Книга 2. Технічні характеристики, вимоги до обладнання та безпеки. – ТОВ «БІЛІНТЕХ УКРАЇНА», 2021. – 62 с.
4. Рішення Київської міської ради «Про створення муніципальної бездротової мережі для екологічного моніторингу» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kmr.gov.ua/uk/document/123456>
5. ДСТУ ISO/IEC 27001:2015 Інформаційні технології. Методи захисту. Системи управління інформаційною безпекою.
6. ГОСТ 34.601-90. Автоматизовані системи. Стадії створення.
7. ДСТУ 2861-94. Системи оброблення інформації. Терміни та визначення.
8. ДСТУ IEC 60364. Електроустановки будівель. Вимоги щодо безпеки.
9. ISO/IEC 30141:2018. Internet of Things (IoT) – Reference Architecture.
10. Трубчанінов С. В. Інформаційні системи: навч. посіб. – К.: Ліра-К, 2020. – 288 с.
11. Козьяков С. А. Основи побудови телекомунікаційних систем. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 212 с.
12. Журавель В. А. Системи екологічного моніторингу: теорія та практика. – К.: КНЕУ, 2021. – 135 с.
13. Камінський М. З. Системний аналіз: навчальний посібник. – К.: Каравела, 2022. – 320 с.

14. LoRa Alliance™. LoRaWAN® 1.0.4 Specification. – 2020. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://lora-alliance.org>
15. ETSI TR 103 525 V1.1.1. Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Low Power Wide Area technologies.
16. Semtech Corporation. SX1276/77/78/79 LoRa Transceiver Data Sheet. – [Електронний ресурс]. – <https://www.semtech.com>
17. Руденко О. Ю. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. – К.: Університет «Україна», 2021. – 204 с.
18. Савченко І. О. Економіка і організація ІТ-проектів. – Харків: ФОП Бровін О. В., 2020. – 176 с.
19. Центр екологічного моніторингу м. Києва. Щорічний звіт за 2022 рік. – [Електронний ресурс]. – <https://eco.kyivcity.gov.ua/reports>
20. Степаненко О. І. Основи автоматизованого проектування ІС. – Львів: Вид-во ЛНУ, 2019. – 148 с.
21. ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use.
22. ДБН В.2.5-23:2010 Системи протипожежного захисту. Електрозв'язок.
23. Єрмаков С. І., Логінова Н. О. Internet of Things: сучасні технології зв'язку. – Вісник КНУ, Серія: Фізико-математичні науки, 2022, №4.
24. Воробієнко П.П., Захарченко М.В., Орел Л.В. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. – ДУІКТ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2619>
25. Кобозєва А.А., Хорошко В.О. Аналіз захищеності інформаційних систем: навч. посіб. – ДУІКТ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duikt.edu.ua/ua/lib/34/category/1292>
26. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями: навч. посіб. – ДУІКТ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2128/view/2049>
27. Моніторинг телекомунікаційних мереж: навч. посіб. – ДУІКТ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2506>

28. Рибальченко М. Сучасні інформаційні технології захисту даних: навч. посіб. – ДУІКТ. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://duikt.edu.ua/ua/lib/1/category/2399>
29. Tektelic KONA All-in-One Smart Room Sensor PIR. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://romsat.ua/sensor-all-in-one-pir-tektelic-smtpbeu868/>
30. Abeeway Compact Tracker. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.abeway.com/compact-tracker/>
31. Waste Bin Sensor NB. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iotshop.co.th/th/products/product/2119-WASTE-BIN-SENSOR-NB>
32. Smartico Industrial Sensor IS-LR. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://smartico.biz/industrial-sensor/>
33. Dingtek DC413 Manhole Sensor. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.thethingsnetwork.org/device-repository/devices/dingtek/dc413/>
34. Dragino LWL02 Water Leak Sensor. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dragino.com/products/lorawan-nb-iot-door-sensor-water-leak/item/180-lwl02.html>
35. Senso8 Indoor Air Quality Sensor. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.senso8.com/senso8-indoor-air-quality-sensors>
36. Eastron SDM230-Lora Energy Meter. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.eastrongroup.com/product/iot-solutions/single-phase-lorawan-multifunction-energy-meter-for-iot-solutions.html>
37. MOKOSmart LW007-PIR Motion Sensor. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mokosmart.com/lorawan-pir-motion-sensor-lw007-pir/>
38. Dragino LDS02 Door Sensor. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.dragino.com/products/lorawan-nb-iot-door-sensor-water-leak/item/181-lds02.html>

Додаток А

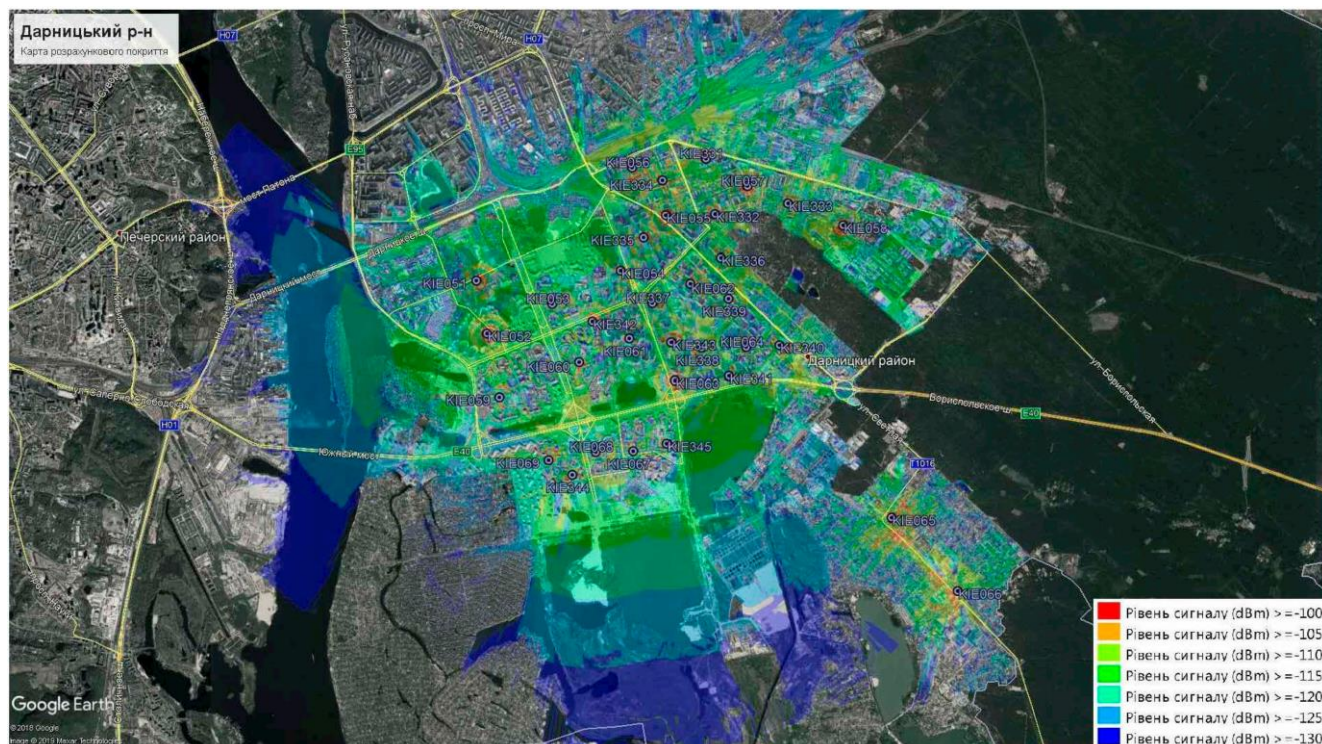


Рис. А.1 – Номінальний план покриття мережі LoRaWAN для Дарницького району м. Києва

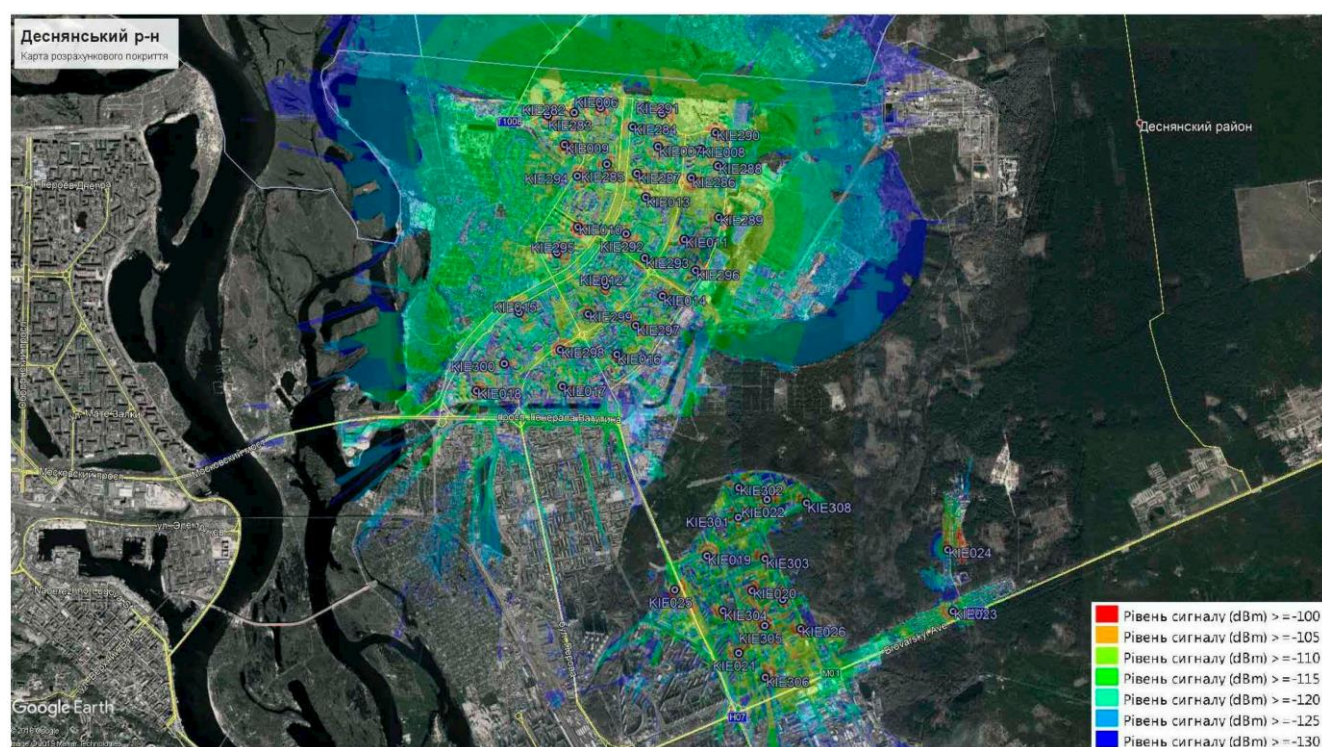


Рис. А.2 – Номінальний план покриття мережі LoRaWAN для Деснянського району м. Києва

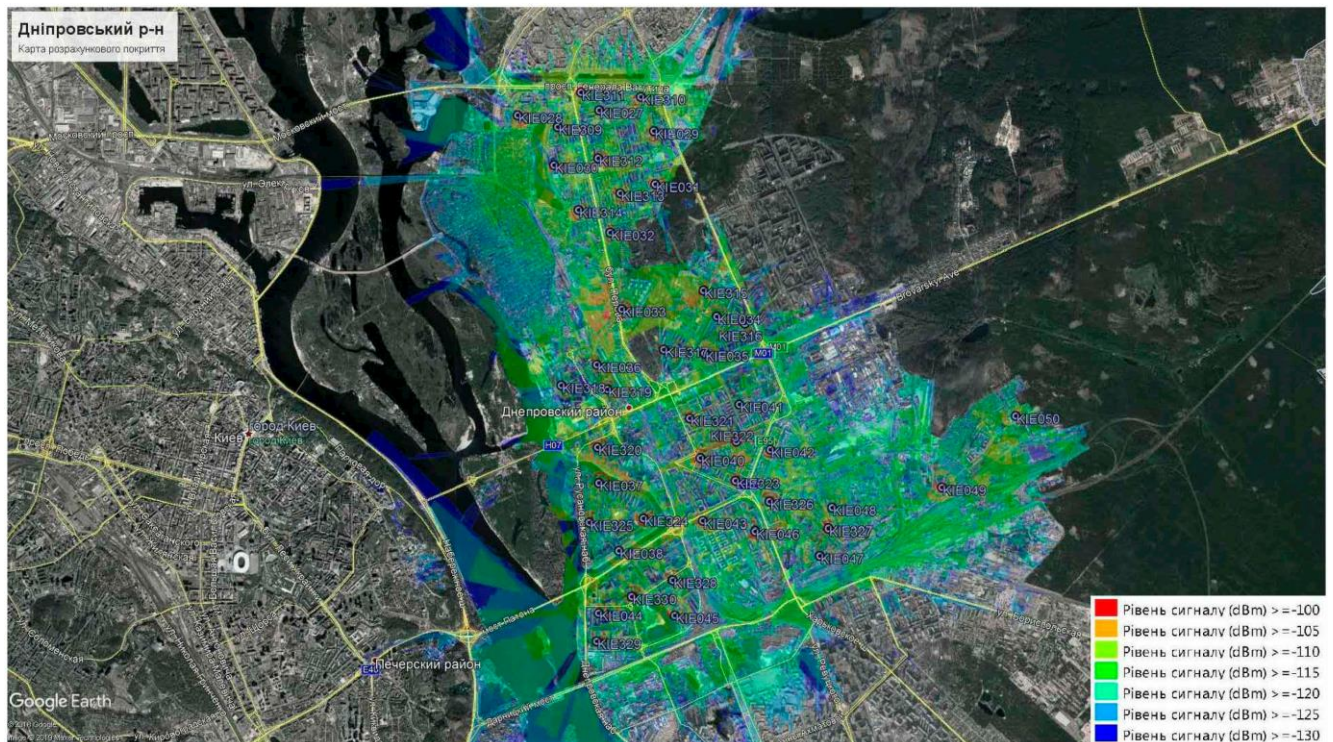


Рис. А.3 – Номінальний план покриття мережі LoRaWAN для Дніпровського району м. Києва

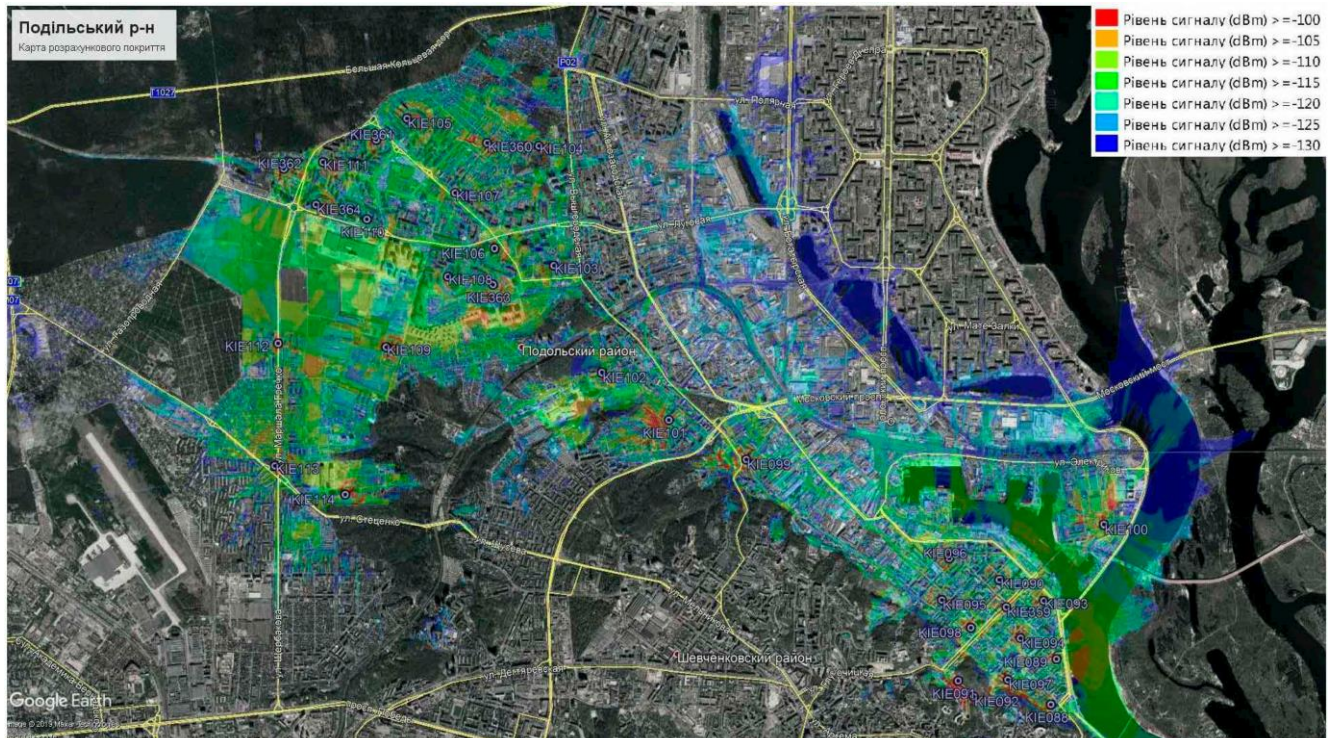


Рис. А.4 – Номінальний план покриття мережі LoRaWAN для Подільського району м. Києва

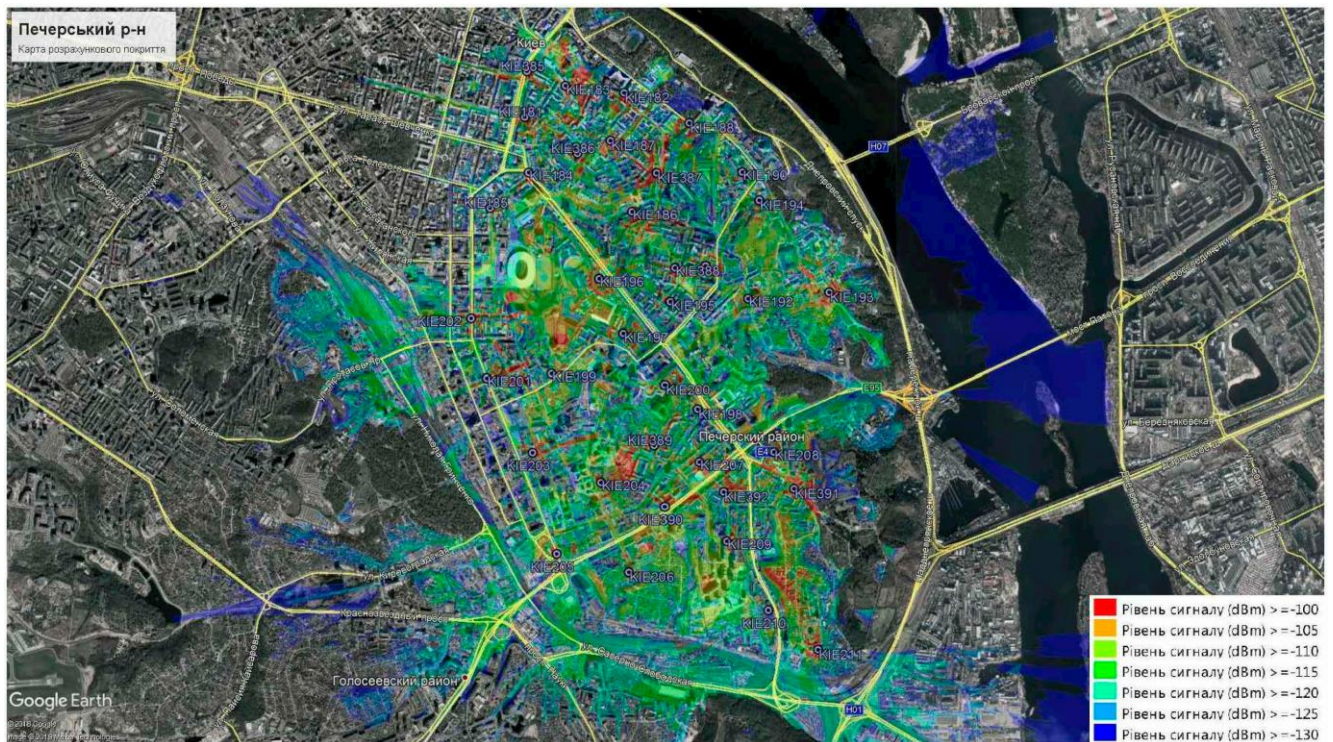


Рис. А.5 – Номінальний план покриття мережі LoRaWAN для Печерського району м. Києва

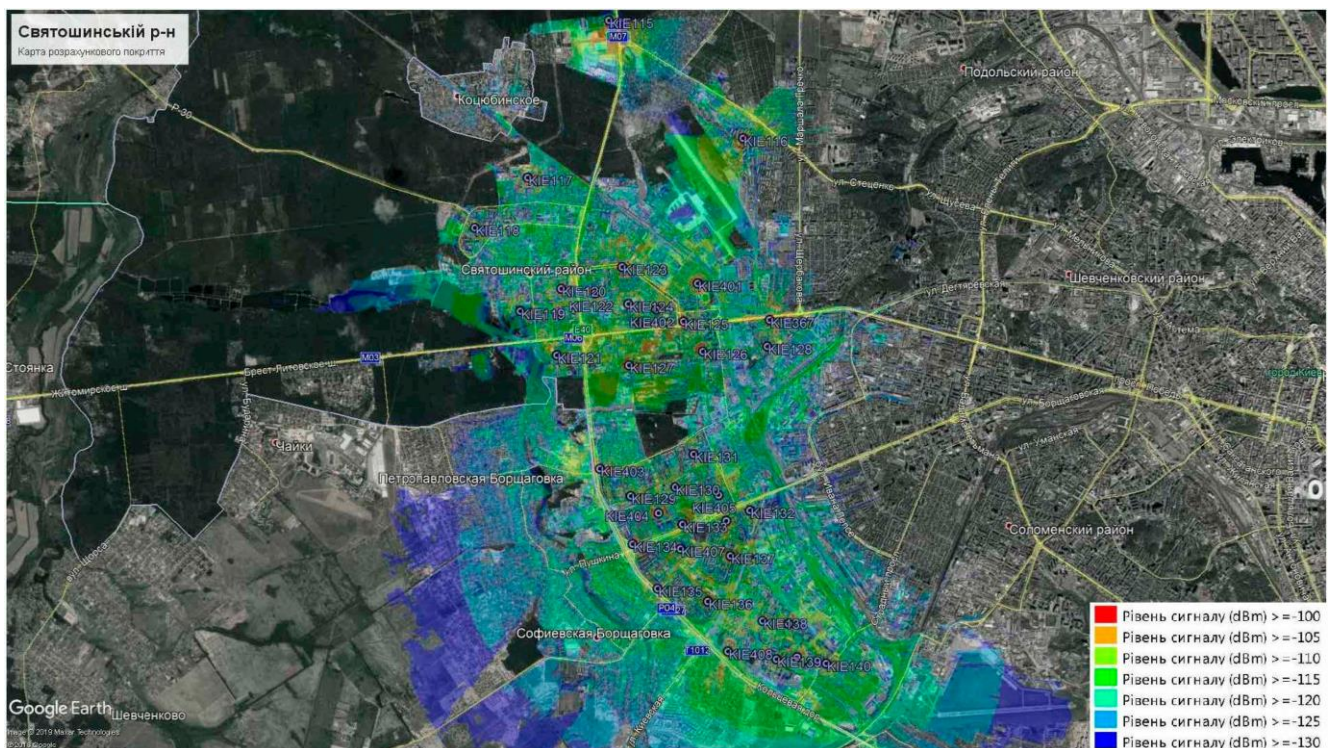


Рис. А.6 – Номінальний план покриття мережі LoRaWAN для Святошинського району м. Києва

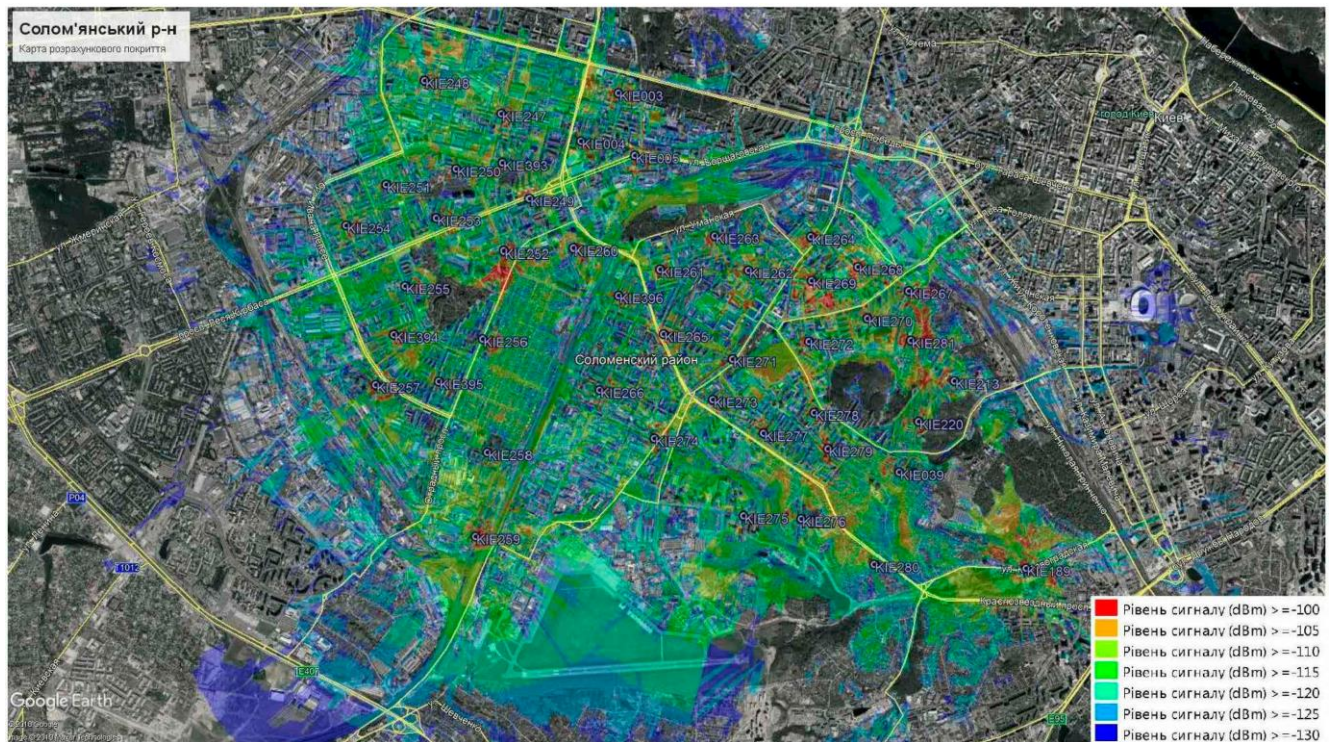


Рис. А.7 – Номінальний план покриття мережі LoRaWAN для Солом'янського району м. Києва

ДЕМОНСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ (Презентація)



МЕТА ТА АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОЄКТУ

МЕТОЮ РОБОТИ РОЗРОБИТИ КОНЦЕПЦІЮ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА СПОВІЩЕННЯ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ LORAWAN ДЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ В ІНФРАСТРУКТУРУ МІСТА КИЄВА.



ЩО ТАКЕ LORAWAN?

LORAWAN — ЦЕ СУЧАСНА БЕЗДРОВОТА ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ, ЯКА ДОЗВОЛЯЄ СТВОРЮВАТИ МАСШТАБОВАНІ МЕРЕЖІ З ВЕЛИКОЮ КІЛЬКІСТЮ ПРИСТРОЇВ.

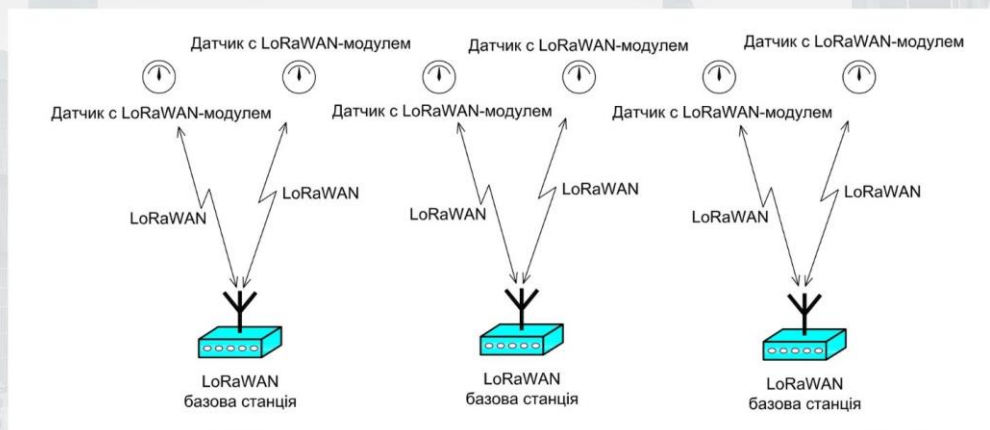


РОЗУМНІ СЕНСОРИ ДЛЯ МІСЬКОГО МОНІТОРИНГУ



ПЕРЕДАЧА ДАНИХ ЧЕРЕЗ LORAWAN

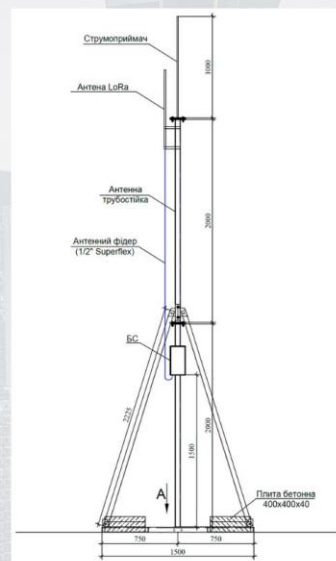
ПІСЛЯ ТОГО, ЯК СЕНСОР ЗЧИТУЄ ПЕВНЕ ЗНАЧЕННЯ (НАПРИКЛАД, ТЕМПЕРАТУРУ ЧИ РІВЕНЬ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВІТРЯ), ВІН ПЕРЕДАЄ ЦІ ДАНІ ПО БЕЗДРОТОВІЙ МЕРЕЖІ LORAWAN.



БАЗОВА СТАНЦІЯ LORAWAN

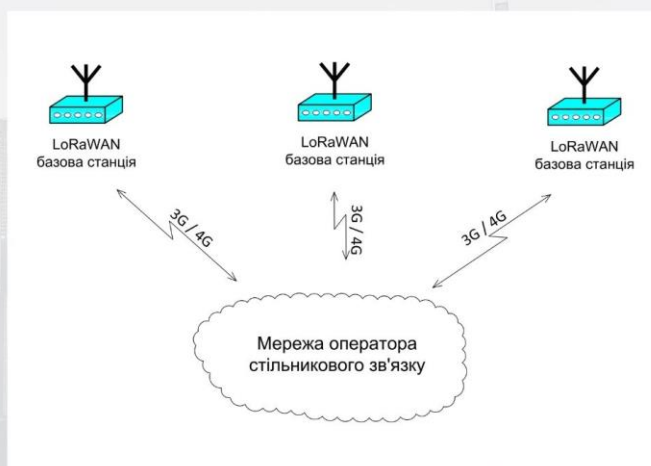


БАЗОВА СТАНЦІЯ LORAWAN — ЦЕ ПРИЙМАЧ, ЯКИЙ ВСТАНОВЛЮЄТЬСЯ НА ДАХАХ БУДІВЕЛЬ. ВОНА НЕ ПОТРЕБУЄ СПЕЦІАЛЬНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА МОЖЕ ПРАЦЮВАТИ АВТОНОМНО.



ПЕРЕДАЧА ДАНИХ НА СЕРВЕР

УСЕРЕДИНІ КОЖНОЇ БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ ВСТАНОВЛЕНА SIM-КАРТА. ВОНА ЗАБЕЗПЕЧУЄ ПЕРЕДАЧУ ДАНИХ ЧЕРЕЗ МОБІЛЬНУ МЕРЕЖУ 3G АБО 4G.



ЦЕНТР ОБРОБКИ ДАНИХ

ПІСЛЯ ПЕРЕДАЧІ З БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ, УСІ ЗІБРАНІ СЕНСОРАМИ ДАНІ НАДХОДЯТЬ ДО ЦЕНТРУ ОБРОБКИ ДАНИХ (ЦОД).



ТУТ ВІДБУВАЄТЬСЯ ГОЛОВНА РОБОТА:

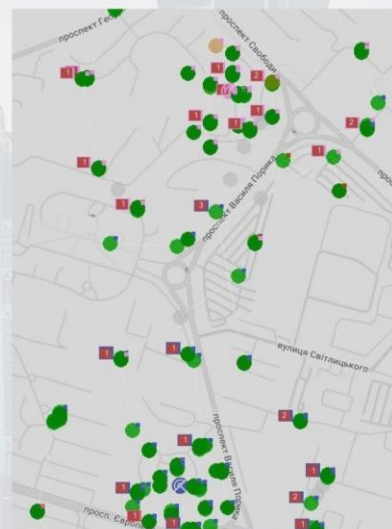
- ФІЛЬТРАЦІЯ ПОМИЛКОВИХ АБО ДУБЛЬОВАНИХ ДАНИХ,
- АНАЛІЗ ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ,
- ЗБЕРЕЖЕННЯ У БАЗАХ ДАНИХ,
- ВІЗУАЛІЗАЦІЯ ДЛЯ ЗРУЧНОГО ПЕРЕГЛЯДУ ОПЕРАТОРОМ.

ДИСПЕТЧЕРСЬКИЙ ЦЕНТР

У ДИСПЕТЧЕРСЬКОМУ ЦЕНТРІ ОПЕРАТОР У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ БАЧИТЬ НА КАРТІ ВСІ ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ, ЯКІ НАДХОДЯТЬ ВІД СЕНСОРІВ.

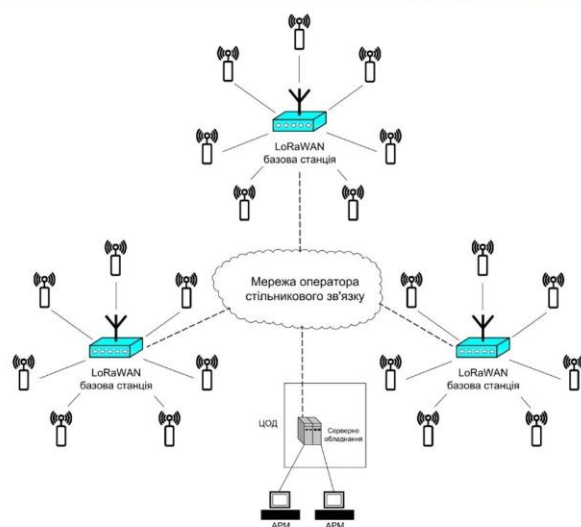
У РАЗІ ФІКСАЦІЇ ПЕРЕВИЩЕННЯ ДОПУСТИМИХ РІВНІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН, ВІЯВЛЕННЯ ЗАТОПЛЕННЯ АБО ВІДКРИТТЯ ЛЮКА, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНО СТВОРЮЄ СПОВІЩЕННЯ

ЗАВДЯКИ ЦЬОМУ МІСТО МОЖЕ ШВИДКО РЕАГУВАТИ НА БУДЬ-ЯКІ ТЕХНОГЕННІ ЧИ ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ.



АРХІТЕКТУРА СИСТЕМИ

СИСТЕМА ПРАЦЮЄ ЗА ПРИНЦИПОМ ТОПОЛОГІЇ "ЗІРКА": СЕНСОРИ ПЕРЕДАЮТЬ ДАНІ НА БАЗОВІ СТАНЦІЇ, А ТІ — ДО ЦЕНТРАЛЬНОГО СЕРВЕРА.



ВИСНОВКИ

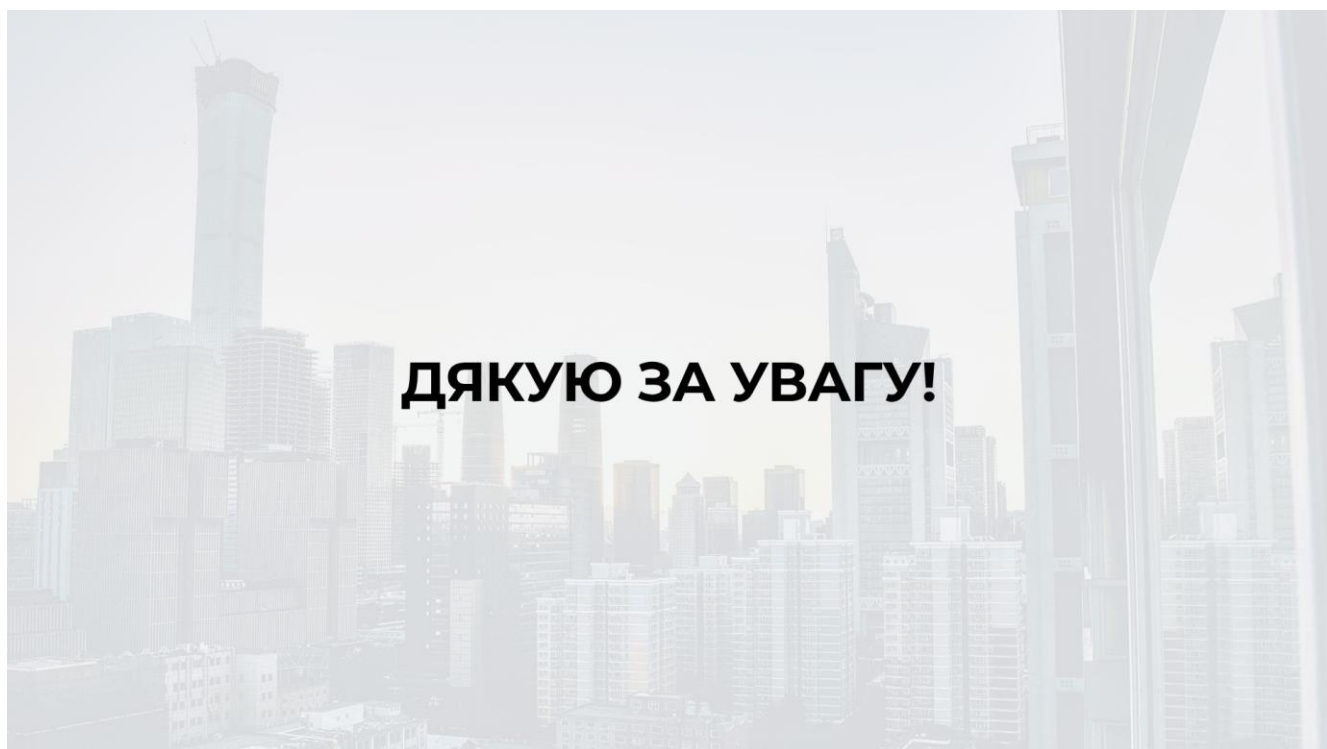
✦ У МЕЖАХ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ ДОВЕДЕНО, ЩО ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ LORAWAN ДЛЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ У КИЄВІ Є:

- ТЕХНІЧНО ДОЦІЛЬНИМ
- ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИМ
- ЕКОНОМІЧНО ВИПРАВДАНИМ

🌍 ЗАПРОПОНОВАНА СИСТЕМА:

- ДОЗВОЛЯЄ КОНТРОЛЮВАТИ СТАН ДОВКІЛЛЯ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ,
- ЛЕГКО МАСШТАБУЄТЬСЯ ТА ІНТЕГРУЄТЬСЯ З МІСЬКОЮ ІНФРАСТРУКТУРОЮ,
- МІНІМІЗУЄ ВИТРАТИ НА ОБСЛУГОВУВАННЯ,
- ЗМІЦНЮЄ ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ МІСТА.

ЦЕ СТВОРЮЄ ПЕРЕДУМОВИ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГУВАННЯ НА ЗАГРОЗИ ТА БІЛЬШ ТОЧНОГО ЕКОЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ У МАЙБУТНЬОМУ.



ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!