

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних наук  
(повна назва кафедри)

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Інформаційно-технологічна платформа для сповіщення громадян про  
якість питної води.

Виконав: студент IV курсу, групи СТ-41

спеціальності

126 Інформаційні системи та  
технології

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Довгалюк С.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Дуда О.М.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Шимчук Г.В.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Боднарчук І.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Тимощук Д.І.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль 2026

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)  
Кафедра комп'ютерних наук  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Боднарчук І.О.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_\_» червня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр  
(назва освітнього ступеня)  
за спеціальністю 126 Інформаційні системи та технології  
(шифр і назва спеціальності)  
Студенту Довгалюк Соломії Володимирівні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інформаційно-технологічна платформа для сповіщення громадян про якість питної води

Керівник роботи Дуда Олексій Михайлович, к.т.н., доцент кафедри КН  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «30» березня 2026 року № 4/9-162

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації щодо інформаційних технологій та інформаційно-технологічних платформ про методи та засоби визначення та сповіщення про якість питної води.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз платформ інтелектуального моніторингу якості водних ресурсів. 2. Проектування архітектури та структури інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води. 3. Проектування та реалізація інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки. Перелік джерел. Додатки.

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

1. Титульна. 2. Тема та мета дослідження. 3. Завдання дослідження. 4. Актуальність дослідження. 5. Розумні технології в моніторингу навколишнього середовища. 6. Чотирирівнева архітектура платформи моніторингу якості питної води. 7. Структура даних. екологічного моніторингу якості питної води. 8. Концептуальна структура інформаційно-технологічної платформи моніторингу якості води. 9. UML-діаграма компонентів інформаційно-технологічної платформи. 10. Технологічний стек розробленої платформи. 11. ER-діаграма структури бази даних. 12. Висновки. 13. Завершальний слайд

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Мариненко С.Ю., кандидат технічних наук, доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання 30 березня 2026 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	07.05.2025	
2.	Підбір та опрацювання літературних джерел по темі кваліфікаційної роботи	01.04.2026-15.04.2026	
3.	Виконання дослідження методів IoT-моніторингу та аналізу показників якості питної води	16.04.2026-15.05.2026	
	Розроблення мікросервісної архітектури та структури сховища даних платформи		
4.	Оформлення розділу «Аналіз платформ інтелектуального моніторингу якості водних ресурсів»	16.05.2026-22.05.2026	
5.	Оформлення розділу «Проектування архітектури та структури інформаційно- технологічної платформи для сповіщення про якість питної води»	23.05.2026-28.05.2026	
6.	Оформлення розділу «Проектування та реалізація інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води»	29.05.2026-03.06.2026	
7.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності»	04.06.2026-05.06.2026	
8.	Виконання завдання до підрозділу «Основи охорони праці»	06.06.2025-07.06.2025	
9.	Оформлення кваліфікаційної роботи	08.06.2026-12.06.2026	
10.	Нормоконтроль	15.06.2026-17.06.2026	
11.	Перевірка на плагіат	18.06.2026	
12.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	19.06.2026	
13.	Захист кваліфікаційної роботи	22.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Довгалюк С.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Дуда О.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Інформаційно-технологічна платформа для сповіщення громадян про якість питної води// Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Довгалюк Соломія Володимирівна // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедра комп'ютерних наук, група СТ-41 // Тернопіль, 2026 // С. 66, рис. – 11, кресл. – 13, додат. – 1, бібліогр. – 68.

**Ключові слова:** Інтелектуальний моніторинг навколишнього середовища; Управління якістю повітря; Моніторинг якості води; Давачі Інтернету речей; Аналітика навколишнього середовища на основі штучного інтелекту.

Кваліфікаційна робота присвячена розробці інформаційно-технологічної платформи для автоматизованого моніторингу якості питної води та оперативного оповіщення громадян задля підвищення екологічної безпеки міста. У першому розділі розглянуто роль інтелектуальних платформ у забезпеченні екобезпеки, технічні засоби збору даних, проаналізовано системи оповіщення населення та обґрунтовано концепцію побудови платформи.

У другому розділі доведено доцільність використання технології блокчейн для захисту даних, досліджено інтеграцію платформи в інфраструктуру «розумного міста», а також розроблено підходи до виявлення промислового забруднення водних ресурсів і раннього попередження екологічних загроз.

У третьому розділі спроектовано архітектуру та інформаційні потоки платформи, розроблено її структурно-функціональну й компонентну моделі, визначено принципи взаємодії модулів. Обґрунтовано вибір технологій збору, обробки та зберігання даних, виконано аналіз ефективності функціонування платформи, що підтверджує її придатність для оперативного інформування населення про стан питної води.

## ANNOTATION

Information Technology Platform for Notifying Citizens About Drinking Water Quality // Qualification work of the educational level «Bachelor» // Dovhaliuk Solomiia // Ternopil Ivan Pulyu National Technical University, Computer and Information Systems and Software Engineering Faculty, Computer Sciences Department, group ST-41 // Ternopil, 2026 // P. 66, fig. – 11, chair. – 13, annexes. – 1, references – 68.

**Keywords:** intelligent environmental monitoring, air quality management, water quality monitoring, internet of things sensors, artificial intelligence-based environmental analytics.

This qualification work focuses on the development of an IT platform for the automated monitoring of drinking water quality and prompt public notification to enhance urban environmental safety. The first chapter examines the role of intelligent platforms in ensuring environmental safety, reviews technical means for data collection, analyzes public notification systems, and substantiates the concept of platform development.

The second chapter justifies the use of blockchain technology for data protection, explores the integration of the platform into "smart city" infrastructure, and develops approaches for detecting industrial water pollution and early warning of environmental threats.

The third chapter outlines the platform's architecture and information flows, develops its structural-functional and component models, and defines principles for module interaction. It provides a justification for the selected data collection, processing, and storage technologies, and includes an efficiency analysis of the platform's operation, confirming its suitability for providing prompt information to the public regarding drinking water quality.

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

API (англ. Application Programming Interface) – програмний інтерфейс застосунку.

CDPs (англ. City Data Platforms) – спеціалізовані міські платформи даних.

DevOps (англ. Development and Operations) – методологія розробки та супроводу програмного забезпечення.

DevSecOps (англ. Development, Security and Operations) – методологія розробки з інтегрованими практиками безпеки.

GIS (англ. Geographic Information Systems) – геоінформаційні системи.

IoT (англ. Internet of Things) – Інтернет речей.

LoRaWAN (англ. Long Range Wide Area Network) – енергоефективна мережа дальнього радіусу дії.

MIT (англ. Massachusetts Institute of Technology) – Массачусетський технологічний інститут.

MQTT (англ. Message Queuing Telemetry Transport) – мережевий протокол передачі повідомлень.

NB-IoT (англ. Narrowband Internet of Things) – вузькосмугова технологія зв'язку для IoT.

SEMS (англ. Smart Environmental Monitoring Systems) – інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища..

БЖД – безпека життєдіяльності.

ГІС – геоінформаційні системи.

ОП – охорона праці.

ШІ – Штучний інтелект.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПЛАТФОРМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ.....	11
1.1 Роль інтелектуальних платформ у забезпеченні екологічної безпеки міст .....	11
1.2 Технічні засоби збору даних для платформ моніторингу якості питної води .....	15
1.3 Порівняльний аналіз платформ оперативного оповіщення населення про якість питної води .....	16
1.4 Концепція побудови інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води.....	18
1.5 Висновок до першого розділу .....	24
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ СПОВІЩЕННЯ ПРО ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ .....	25
2.1 Технології блокчейн для безпеки даних у платформі для сповіщення про якість питної води.....	25
2.2 Інтеграція платформ моніторингу якості питної води в інфраструктуру міст .....	27
2.3 Методологія виявлення та контролю промислового забруднення водних ресурсів .....	28
2.4 Інтелектуальний моніторинг водних ресурсів та механізми раннього попередження .....	29
2.5 Інтеграція систем моніторингу якості питної води в концепцію «розумного міста» та аналітика великих даних .....	30
2.6 Стандартизація та взаємодія платформ екологічного моніторингу якості питної води.....	32
2.7 Висновок до другого розділу .....	35

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ СПОВІЩЕННЯ ПРО ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ .....	36
3.1 Архітектурна модель та інформаційні потоки платформи для сповіщення про якість питної води.....	36
3.2 Структурно-функціональна схема інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води.....	38
3.3 Компонентна база та взаємодія модулів інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води..	41
3.4 Технології застосовані для сповіщення громадян про якість питної води .....	43
3.5 Організація та логічна структура сховища даних інформаційно-технологічної платформи про якість питної води.....	46
3.6 Аналіз ефективності функціонування інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води.....	48
3.7 Висновок до третього розділу .....	49
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	50
4.1 Надзвичайні ситуації екологічного характеру та превентивна функція платформи сповіщення.....	50
4.2 Санітарно-гігієнічні вимоги та безпека праці користувачів ПК .....	52
4.3 Розрахунок штучного освітлення для робочого місця розробника ...	53
4.4 Висновок до четвертого розділу .....	55
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ .....	58
ДОДАТКИ	

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Забезпечення населення питною водою належної якості є фундаментальною умовою екологічної безпеки та сталого функціонування «розумного міста». Традиційні методи моніторингу, засновані на періодичному лабораторному аналізі, не забезпечують оперативного виявлення техногенних загроз. Впровадження інформаційно-технологічних платформ, інтегрованих у міську інфраструктуру, дозволяє здійснювати безперервний контроль якості води з використанням датчиків, хмарних обчислень та методів інтелектуальної аналітики. Розробка такої системи є критично необхідною для мінімізації ризиків для здоров'я населення, забезпечення прозорості комунального управління та підвищення стійкості міського середовища до екологічних інцидентів.

Впровадження інтелектуальних систем моніторингу сприяє підвищенню точності прогнозування забруднень та оперативності управлінських рішень. Основними перешкодами для їх широкого впровадження залишаються питання забезпечення сумісності датчиків, безпеки даних, оптимізації витрат та нормативної стандартизації процесів збору та обробки інформації

**Мета і задачі дослідження.** Метою даної кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» є підвищення якості послуг інформування населення про стан питної води шляхом розробки та впровадження інформаційно-технологічної платформи. Для досягнення поставленої мети потрібно виконати ряд завдань, зокрема:

- Проаналізувати стан досліджень в сучасний стан досліджень у галузі інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища та гіперспектральної візуалізації.

- Розробити архітектуру інформаційно-технологічної платформи з використанням мікросервісного підходу та IoT-технологій;

- Реалізувати алгоритми аналітичного опрацювання даних для виявлення аномальних значень показників якості води;

- Спроекувати структуру сховища даних, що забезпечує зберігання та оперативний доступ до телеметричної інформації;
- Обґрунтувати заходи з безпеки життєдіяльності та охорони праці під час розробки та експлуатації програмного забезпечення платформи.

**Об’єкт дослідження:** процеси збору, оброблення та передавання даних про стан якості питної води у складі інформаційно-технологічних платформ «розумних міст».

**Предмет дослідження:** методи, алгоритми та технологічні засоби IoT-моніторингу, аналітичного опрацювання телеметричних даних та автоматизованого сповіщення громадян в межах інформаційно-технологічних платформ «розумних міст».

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у систематизації та узагальненні підходів до застосування багатопараметричних IoT-зондових мереж в інформаційно-технологічних платформах «розумних міст», а також у розвитку підходів до інтеграції оперативних даних якості води з міськими системами оповіщення для підвищення швидкості реагування на екологічні загрози.

**Практичне значення** полягає у можливості використання розробленої архітектури платформи для впровадження систем моніторингу якості води в міських водопровідних мережах, оптимізації процесів збору телеметрії та вдосконалення механізмів масового інформування населення, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи.** Основні результати проведених досліджень обговорювались на XIII науково-технічній конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (м. Тернопіль, 2025 р.).

**Публікації.** Основні результати кваліфікаційної роботи опубліковано у двох тезах XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (див. додаток А).

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку літератури з 68 найменувань та 2 додатків. Загальний обсяг кваліфікаційної роботи складає 68 сторінок, з них 45 сторінок основного тексту, який містить 11 рисунків.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПЛАТФОРМ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ

### 1.1 Роль інтелектуальних платформ у забезпеченні екологічної безпеки міст

Забруднення довкілля є критичним чинником, що негативно впливає на екосистеми, здоров'я людини та стабільність міської інфраструктури. Наявність небезпечних домішок у повітрі та воді асоціюється зі зростанням респіраторних, серцево-судинних та інфекційних захворювань, що зумовлює нагальну потребу в ефективних системах моніторингу [1]. Традиційні методи контролю, що базуються на періодичному ручному відборі проб та лабораторному аналізі, є ресурсомісткими та не забезпечують отримання аналітичних даних у режимі реального часу [2].

Альтернативою стали інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища (SEMS) – технологічні рішення, що інтегрують датчики, засоби аналітики та автоматизовані процеси для безперервного відстеження рівня забруднення [3]. Завдяки використанню технологій Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту (AI) та обробки великих даних, такі системи підвищують ефективність екологічного управління. Впровадження SEMS забезпечує отримання просторово-часових даних високої роздільної здатності, що є критично важливим для моніторингу якості повітря та води [4]. Основними компонентами таких систем та їхня взаємодія на концептуальному рівні представлені на рисунку 1.1

Моніторинг повітря за допомогою інтелектуальних технологій дозволяє комплексно оцінювати концентрації твердих частинок (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), оксидів азоту, діоксиду сірки та летких органічних сполук [5]. Системи на основі IoT використовують мережі недорогих бездротових датчиків для передачі даних на хмарні платформи, що дозволяє органам влади своєчасно реагувати на екологічні загрози [6].



Рисунок 1.1 – Розумні технології в моніторингу навколишнього середовища

Прогнозна аналітика, реалізована через алгоритми машинного навчання, сприяє оцінці тенденцій забруднення на основі історичних даних, а методи глибокого навчання підвищують точність класифікації забруднювачів та виявлення аномалій у міському середовищі [4].

Застосування інтелектуальних систем забезпечує ширше охоплення території та комплексність оцінки порівняно з традиційними мережами станцій моніторингу. Мобільні сенсорні мережі та громадські наукові ініціативи додатково сприяють детальному картографуванню забруднень, покращуючи прийняття рішень щодо довкілля [7].

Аналогічні технології використовуються для інтелектуального моніторингу якості води, де виявляються важкі метали, нітрати, фосфати та патогени [8]. Давачі IoT безперервно вимірюють рН, каламутність, рівень розчиненого кисню та температуру, транслюючи результати на хмарні панелі візуалізації [1]. Методи штучного інтелекту допомагають ідентифікувати джерела забруднення, такі як промислові скиди чи витoki стічних вод [9] таким чином, SEMS стають механізмом раннього попередження, що підвищує ефективність політики управління водними ресурсами. У «розумних містах» інтеграція передових систем моніторингу продемонструвала спроможність пом'якшувати ризики захворювань та забезпечувати доступ до безпечної питної води [10]. Крім того, для гарантування безпеки та прозорості даних у моніторингу якості води інтегруються рішення на основі технології блокчейн [11].

Ефективність SEMS у моніторингу навколишнього середовища додатково підтверджується їхньою здатністю інтегрувати супутникове дистанційне зондування та геоінформаційні системи (ГІС) для масштабних оцінок забруднення [12]. Супутникові спостереження за якістю повітря та води в поєднанні з даними наземних датчиків Інтернету речей забезпечують багатомасштабний підхід до моніторингу навколишнього середовища [4]. Платформи хмарних обчислень сприяють зберіганню та обробці величезних наборів даних, дозволяючи політикам та дослідникам отримувати змістовні висновки з історичних даних та даних у реальному часі [12]. Дослідження також підкреслюють важливість периферійних обчислень для зменшення затримки та підвищення ефективності передачі даних в інтелектуальних екологічних системах [4]. Крім того, інтеграція технології 5G покращує зв'язок та забезпечує безперебійний зв'язок між віддаленими датчиками та центральними процесорами [7]. Поєднання цих технологій дозволяє відстежувати забруднення на високій частоті, що призводить до більш обґрунтованого управління навколишнім середовищем [13]. Кілька досліджень також досліджували застосування SEMS у промислових зонах, де рівень забруднення повітря та води значно вищий через викиди та стічні води від виробничих процесів [14]. У промислових регіонах було розгорнуто інтелектуальні системи моніторингу для забезпечення дотримання нормативних вимог, гарантуючи, що викиди не перевищують допустимі ліміти [4]. Системи екологічної відповідності на основі штучного інтелекту використовують дані моніторингу в режимі реального часу для виявлення порушень та запуску автоматичних сповіщень для вжиття коригувальних заходів [15]. Крім того, моніторинг промислових стічних вод за допомогою інтелектуальних датчиків дозволяє ідентифікувати токсичні забруднювачі до того, як вони потраплять до природних водойм.

На додаток до дотримання нормативних вимог, SEMS підтримує сталий промисловий досвід, оптимізуючи використання ресурсів та мінімізуючи вплив на навколишнє середовище. Впровадження SEMS у промислових умовах

підкреслює їхній потенціал для балансування економічного зростання з екологічною відповідальністю [16]. Окрім промислового застосування, SEMS (інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища) були розгорнуті в міських умовах для моніторингу забруднення в житлових районах, школах та закладах охорони здоров'я [17]. Ці системи допомагають оцінити вплив забруднення повітря на вразливі групи населення, зокрема діти, люди похилого віку та особи з респіраторними захворюваннями [16]. Дослідження показали, що інтелектуальний моніторинг навколишнього середовища сприяє підвищенню обізнаності громадськості та залученню громади до зусиль щодо боротьби із забрудненням [4]. Дані, отримані за допомогою SEMS, можна використовувати для розробки локалізованих індексів якості повітря, допомагаючи мешканцям приймати обґрунтовані рішення щодо активного відпочинку на свіжому повітрі [18]. Поширення SEMS у різних середовищах демонструє їхню універсальність та трансформаційний вплив на моніторинг навколишнього середовища та громадське здоров'я [19]. Основною метою цього дослідження є вивчення ролі інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища (SEMS) в управлінні якістю повітря та води шляхом аналізу їх технологічних компонентів, операційних механізмів та ефективності моніторингу забруднення. Це дослідження має на меті оцінити, як давачі на базі Інтернету речей, аналітика на основі штучного інтелекту та хмарні обчислення сприяють моніторингу навколишнього середовища в режимі реального часу та покращують прийняття рішень на основі даних. Крім того, воно має на меті оцінити вплив SEMS на дотримання нормативних вимог, охорону здоров'я та контроль промислового забруднення шляхом синтезу висновків з існуючої літератури. Критичним аспектом цього дослідження є визначення сильних та обмежених сторін SEMS, включаючи проблеми, пов'язані з точністю даних, калібруванням давачів та кібербезпекою. Крім того, це дослідження має на меті висвітлити тематичні дослідження, що демонструють практичне застосування SEMS у міських та промислових умовах, підкреслюючи їхню роль у пом'якшенні ризиків, пов'язаних із

забрудненню. Шляхом систематичного огляду щонайменше 20 наукових джерел, це дослідження має на меті забезпечити всебічне розуміння того, як SEMS сприяють сталому екологічному управлінню та підвищенню екологічної стійкості.

## **1.2 Технічні засоби збору даних для платформ моніторингу якості питної води**

Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища (SEMS) стали трансформаційним підходом до відстеження та управління якістю повітря та води за допомогою передових технологій, наприклад, Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (ШІ) та аналітика великих даних. Зростаючі екологічні проблеми та нормативні вимоги спонукали дослідників дослідити, як ці системи сприяють ефективному контролю забруднення та сталому управлінню навколишнім середовищем [4]. Література з SEMS охоплює численні аспекти, включаючи архітектуру системи, сенсорні технології, методології обробки даних та їхній вплив на управління навколишнім середовищем. Різні дослідження досліджували інтеграцію моніторингу в режимі реального часу з прогнозною аналітикою для оцінки тенденцій забруднення та розробки систем раннього попередження [16]. Крім того, дослідники досліджували проблеми, пов'язані з впровадженням SEMS, як от точність даних, калібрування датчиків, ризики кібербезпеки та обмеження витрат [17]. У цьому розділі розглядаються існуючі дослідження з SEMS, класифікуючи ключові внески за окремими підгалуззями, щоб забезпечити структуроване розуміння їх розробки та застосування. Починається огляд технологічних основ SEMS, зосереджуючись на сенсорних мережах Інтернету речей, хмарних обчисленнях та аналітиці на основі штучного інтелекту. У наступних розділах обговорюються системи моніторингу якості повітря, виділяючи конкретні забруднювачі, методи відстеження в режимі реального часу та застосування машинного навчання для прогнозування забруднення повітря. Аналогічно, системи моніторингу якості

води розглядаються з точки зору виявлення забруднення, методів зондування в режимі реального часу та автоматизованих механізмів управління. Далі досліджується роль SEMS у промисловому екологічному управлінні, з акцентом на контролі забруднення у виробничих зонах та моніторингу промислових стічних вод. Крім того, розглядається література щодо нормативно-правових баз та політичних наслідків, пов'язаних з впровадженням SEMS. Нарешті, у цьому розділі обговорюються обмеження та майбутні напрямки досліджень, які необхідно врахувати для підвищення ефективності та масштабованості SEMS.

### 1.3 Порівняльний аналіз платформ оперативного оповіщення населення про якість питної води

Інтеграція сенсорних мереж Інтернету речей (IoT) значно покращила моніторинг навколишнього середовища, забезпечивши оцінку якості повітря та води в режимі реального часу. Концептуальну архітектуру такої системи моніторингу питної води представлено на рисунку 1.2.

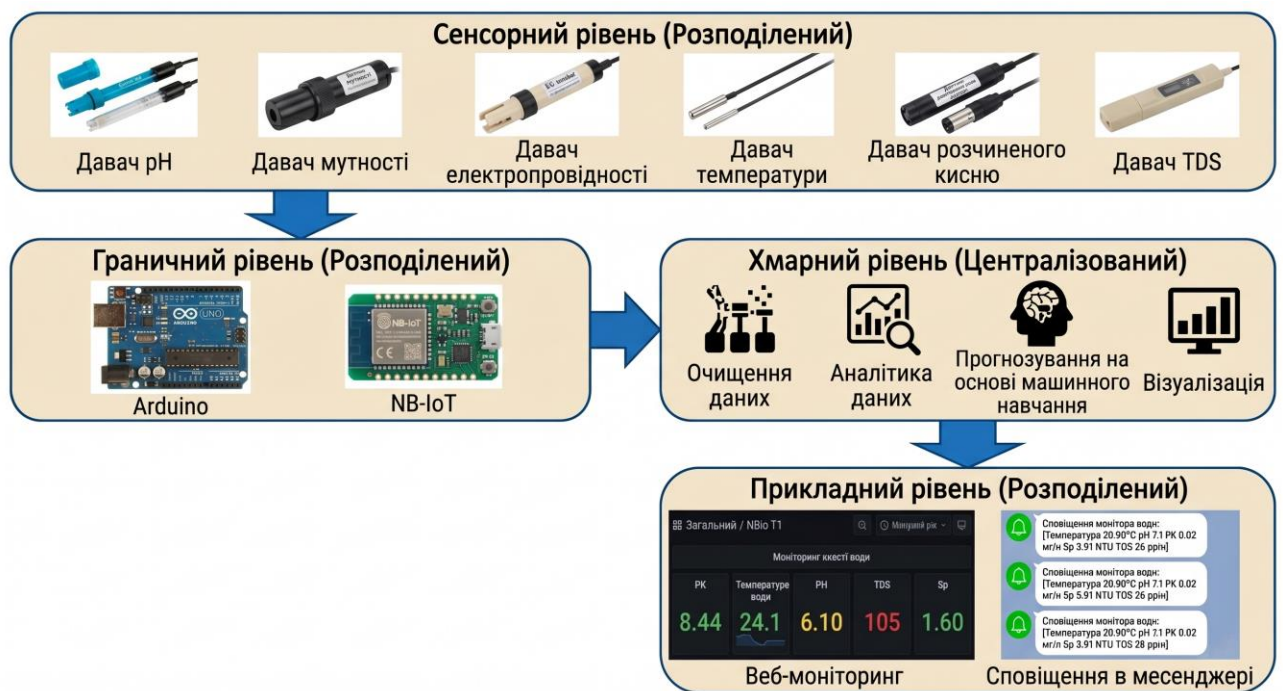


Рисунок 1.2 – Архітектура системи моніторингу питної води

Давачі IoT виявляють різні забруднювачі та передають дані на хмарні платформи для аналізу та візуалізації [19]. Системи моніторингу якості повітря зазвичай використовують електрохімічні давачі для таких газів, як чадний газ (CO), діоксид азоту (NO<sub>2</sub>) та діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), а також оптичні давачі для твердих частинок (PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>) [4]. У моніторингу якості води давачі вимірюють такі параметри, як pH, каламутність, розчинений кисень та провідність, забезпечуючи безперервну оцінку водного середовища [18]. Мініатюризація давачі та вдосконалення протоколів бездротового зв'язку, зокрема LoRaWAN та Zigbee, ще більше підвищили ефективність та масштабованість систем моніторингу навколишнього середовища на основі IoT [19]. На відміну від традиційного відбору проб та лабораторного аналізу, мережі на базі Інтернету речей пропонують вищу часову та просторову роздільну здатність, що робить виявлення забруднення більш оперативним та дієвим [4]. Різні типи давачі Інтернету речей розгортаються залежно від вимог моніторингу навколишнього середовища, причому оптичні, електрохімічні та твердотільні давачі широко використовуються для оцінки якості повітря та води. Оптичні давачі, включаючи лазерні системи, вимірюють тверді частинки та каламутність, аналізуючи картини розсіювання світла [20]. Електрохімічні давачі виявляють газоподібні забруднювачі за допомогою хімічних реакцій, які генерують вимірювані електричні сигнали, що робить їх дуже ефективними для моніторингу якості повітря в містах. У моніторингу якості води іоноселективні електроди (ISE) використовуються для вимірювання специфічних забруднювачів, як от нітрати та фосфати, тоді як біосенсори виявляють біологічні забруднювачі, наприклад, бактерії та віруси [4]. Багатопараметричні давачі інтегрують кілька механізмів виявлення для забезпечення комплексної оцінки забруднення як у повітряному, так і у водному середовищі [20].

Зростаюче використання наносенсорів ще більше підвищило чутливість та межі виявлення, що дозволяє ідентифікувати слідові забруднювачі, які раніше було важко виміряти за допомогою традиційних методів [21]. Більше того, точність та надійність давачів Інтернету речей у моніторингу

навколишнього середовища залежать від калібрування, умов навколишнього середовища та деградації датчиків з часом. Калібрування є критично важливим процесом, який забезпечує підтримку точності датчиків шляхом порівняння їхніх показань з еталонними приладами в контрольованих умовах [4]. Такі фактори, як температура, вологість та перехресна чутливість до нецільових забруднювачів, можуть впливати на точність датчиків, що призводить до дрейфу вимірювань та невідповідностей даних [22]. Дослідження показали, що датчі якості повітря, що встановлюються в польових умовах, потребують частого повторного калібрування, щоб зменшити дрейф датчиків та забезпечити достовірність даних [20]. Аналогічно, датчі якості води, що піддаються впливу біообрастання та хімічних перешкод, потребують регулярного обслуговування для підтримки своєї роботи [19]. Дослідники досліджували використання методів калібрування датчиків на основі штучного інтелекту, які використовують алгоритми машинного навчання для виправлення неточностей датчиків та покращення довгострокової стабільності [4]. Ці досягнення сприяють підвищенню надійності мереж моніторингу забруднення на базі Інтернету речей у різних умовах навколишнього середовища.

#### **1.4 Концепція побудови інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води**

Штучний інтелект (ШІ) та машинне навчання (МН) революціонізували екологічну аналітику, покращивши прогнозне моделювання, виявлення аномалій та прогнозування забруднення. Традиційні підходи до моніторингу навколишнього середовища часто не забезпечують точних та своєчасних прогнозів через складність та мінливість моделей забруднення [23]. Моделі машинного навчання, включаючи методи опорних векторів (SVM), випадкові ліси та штучні нейронні мережі (ANN), широко використовуються для аналізу величезних наборів даних про навколишнє середовище та прогнозування тенденцій забруднення [24]. Методи прогнозування часових рядів з

використанням рекурентних нейронних мереж (RNN) та мереж довгої короткочасної пам'яті (LSTM) дозволяють робити точніші прогнози якості повітря та води, фіксуючи часові залежності в даних про навколишнє середовище [4]. Крім того, гібридні моделі ШІ, що інтегрують глибоке навчання та статистичні методи, продемонстрували підвищену точність прогнозування розсіювання забруднюючих речовин у міських та промислових районах [25]. Ці моделі покращують прийняття рішень, надаючи ранні попередження про сплески забруднення, дозволяючи політикам та регуляторним органам вживати превентивних заходів [23]. Виявлення аномалій в екологічній аналітиці було значно покращено завдяки методам на основі штучного інтелекту, які виявляють відхилення від нормальних рівнів забруднення, спричинені промисловими викидами, розливами хімічних речовин або екстремальними погодними явищами [26]. Традиційні методи виявлення на основі порогових значень часто мають труднощі з динамічними умовами навколишнього середовища, що призводить до хибних тривог або невиявлених аномалій забруднення [25]. Алгоритми машинного навчання без учителя, зокрема кластеризація k-середніх та автокодері, покращують виявлення аномалій шляхом автоматичного навчання нормальних моделей забруднення та позначання незвичайних відхилень [26]. Розширені моделі глибокого навчання, включаючи згорткові нейронні мережі (CNN), були використані для аналізу супутникових знімків та виявлення масштабних екологічних аномалій, зокрема цвітіння водоростей, розливи нафти та вирубка лісів [27]. Системи виявлення аномалій на основі штучного інтелекту були розгорнуті в розумних містах, де дані датчиків Інтернету речей у режимі реального часу постійно аналізуються для виявлення джерел забруднення та оптимізації стратегій пом'якшення наслідків для навколишнього середовища [28]. Ці системи покращують оперативність моніторингу навколишнього середовища, виявляючи події забруднення в міру їх виникнення, зменшуючи вплив небезпечних викидів на здоров'я населення та екосистеми [24].

Крім того, програми глибокого навчання ще більше покращили прогнозування забруднення шляхом обробки великомасштабних наборів даних про навколишнє середовище, зібраних з датчиків Інтернету речей, супутників дистанційного зондування та метеорологічних станцій [28]. Згорткові нейронні мережі (CNN) та генеративно-змагальні мережі (GAN) були використані для покращення просторової роздільної здатності прогнозів якості повітря та води, що робить їх більш ефективними для локалізованого контролю забруднення [4]. SVM – це широко використовувана модель машинного навчання для класифікації даних про якість повітря та води. Межа прийняття рішень в SVM наведена у формулі 1.1.

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} \|w\|^2 + C \sum_{i=1}^n \max(0, 1 - y_i(w^T x_i + b)) \quad (1.1)$$

Методи глибокого навчання з підкріпленням (DRL) також застосовувалися для оптимізації екологічної політики шляхом моделювання сценаріїв забруднення та визначення найефективніших стратегій пом'якшення наслідків [29]. Дослідження показали, що моделі прогнозування забруднення на основі штучного інтелекту перевершують традиційні підходи на основі регресії у прогнозуванні концентрацій дрібних твердих частинок (PM2.5) та визначенні гарячих точок забруднення [30]. Крім того, методи трансферного навчання, де попередньо навчені моделі адаптуються до нових наборів даних про навколишнє середовище, покращили адаптивність моделей штучного інтелекту до різних географічних регіонів та кліматичних умов [31]. Інтеграція методів глибокого навчання в екологічну аналітику розширює прогностичні можливості, дозволяючи органам влади ефективніше впроваджувати заходи контролю забруднення на основі даних [4]. Поєднання штучного інтелекту, великих даних та хмарних обчислень дозволило проводити масштабну екологічну аналітику, роблячи моніторинг забруднення більш ефективним та масштабованим [32]. Методи об'єднання даних на основі штучного інтелекту

інтегрують різноманітні набори даних про навколишнє середовище із супутникових знімків, наземних давачів та історичних записів забруднення для створення комплексних прогнозів забруднення [24]. Хмарні платформи штучного інтелекту дозволяють обробляти та візуалізувати тенденції забруднення в режимі реального часу, сприяючи швидкому прийняттю рішень для природоохоронних органів [33]. Розробка федеративних моделей навчання, де моделі штучного інтелекту навчаються на децентралізованих пристроях без обміну необробленими даними, також покращила конфіденційність та безпеку даних у застосунках для моніторингу навколишнього середовища [34]. Аналітика навколишнього середовища на основі штучного інтелекту відіграла важливу роль у дослідженнях зміни клімату, допомагаючи вченим моделювати довгостроковий вплив забруднення на підвищення глобальної температури та склад атмосфери [29]. Безперервний розвиток методологій штучного інтелекту та машинного навчання підвищує точність та надійність систем моніторингу навколишнього середовища, сприяючи більш ефективним стратегіям управління якістю повітря та води [4]. Хмарні та периферійні обчислення для обробки даних у реальному часі

Хмарні та периферійні обчислення трансформували моніторинг навколишнього середовища, забезпечивши обробку даних у реальному часі, ефективну передачу даних та масштабовані рішення для зберігання. Традиційні системи моніторингу навколишнього середовища часто стикаються з проблемами обробки великих обсягів даних, що генеруються давачами, що призводить до затримок у виявленні забруднення та реагуванні на нього [35]. Хмарні обчислення забезпечують централізовану інфраструктуру, де дані з давачів Інтернету речей передаються, зберігаються та обробляються за допомогою передових обчислювальних алгоритмів [32]. Ця архітектура дозволяє природоохоронним органам аналізувати тенденції забруднення, візуалізувати показники якості повітря та води в реальному часі та генерувати автоматичні сповіщення [24]. Багаторівневу архітектуру взаємодії між рівнем

пристроїв IoT, придорожніми, регіональними та хмарними вузлами обробки даних зображено на рисунку 1.3.

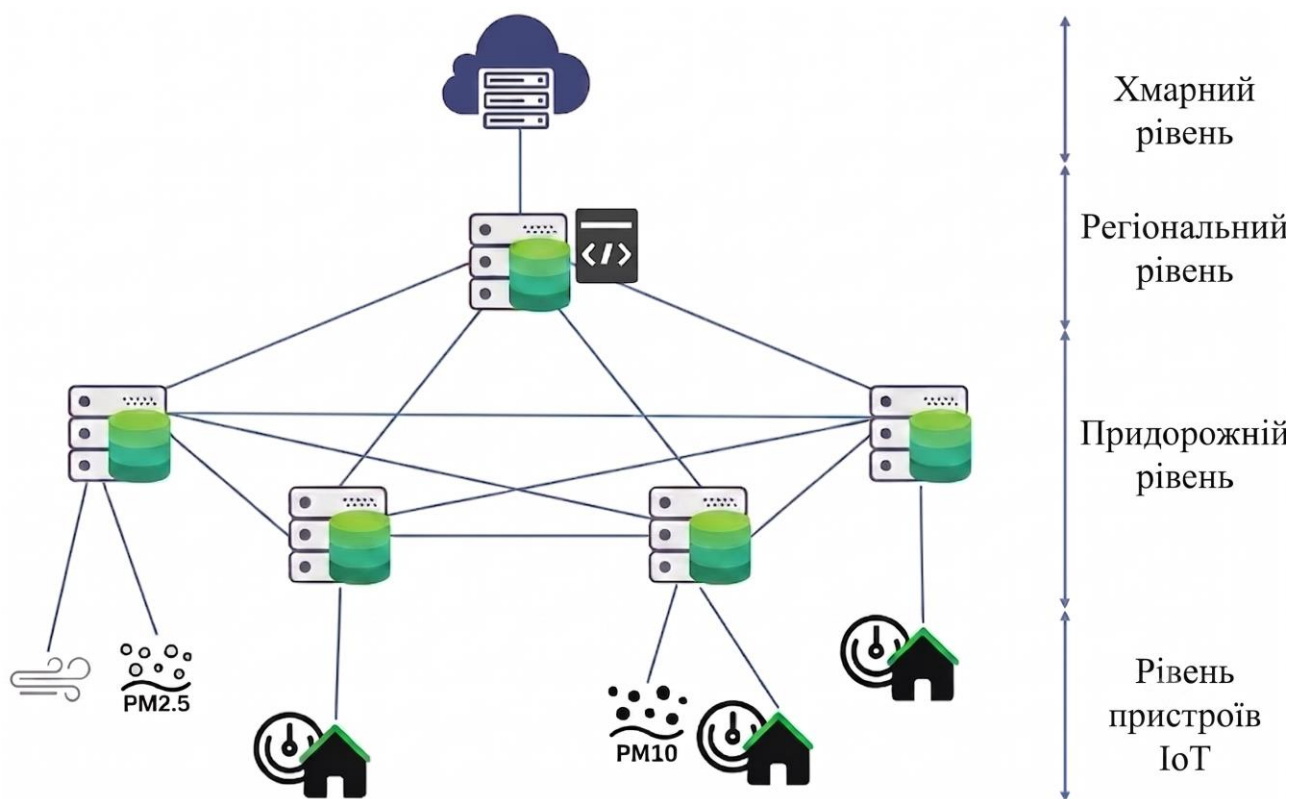


Рисунок 1.3 – Модель системи моніторингу навколишнього середовища на основі периферійних обчислень

Інтеграція аналітики великих даних з хмарними платформами покращує прийняття рішень, дозволяючи агрегувати та аналізувати різноманітні набори даних про навколишнє середовище. Крім того, хмарні рішення пропонують високу обчислювальну потужність для прогнозного моделювання на основі штучного інтелекту, підвищуючи точність прогнозування забруднення та оцінки екологічних ризиків [4].

Периферійні обчислення стали додатковою технологією до хмарних обчислень, вирішуючи проблеми затримки шляхом обробки даних про навколишнє середовище ближче до джерела. На відміну від хмарних систем, які залежать від централізованих центрів обробки даних, периферійні обчислення використовують локалізовані процесори, як от вбудовані процесори

в датчиках Інтернету речей або периферійні шлюзи, для проведення аналізу даних у режимі реального часу перед передачею уточнених даних на хмарні сервери [13]. Ця децентралізована архітектура зменшує навантаження на хмарну інфраструктуру, одночасно підвищуючи швидкість реагування систем моніторингу забруднення [16]. Дослідження показали, що обробка на периферії значно зменшує затримку в моніторингу якості повітря, дозволяючи негайно виявляти аномалії забруднення та сплески викидів. У моніторингу якості води периферійні обчислення мінімізують витрати на передачу даних шляхом попередньої обробки показань датчиків для виявлення подій забруднення перед надсиланням критичних сповіщень на хмарні платформи [4]. Крім того, впровадження моделей федеративного навчання в середовищах периферійних обчислень дозволяє кільком станціям моніторингу навколишнього середовища спільно навчати моделі штучного інтелекту без обміну необробленими даними, що підвищує конфіденційність та безпеку даних [17]. Ефективність хмарних та периферійних обчислень у моніторингу навколишнього середовища додатково підтримується досягненнями в технологіях передачі даних. Високошвидкісні протоколи бездротового зв'язку, як от 5G, LoRaWAN та NB-IoT, покращили швидкість передачі даних, що дозволяє синхронізувати дані в режимі реального часу між периферійними пристроями та хмарними серверами [16]. Ці технології сприяють безперервній потоковій передачі даних від датчиків Інтернету речей до віддалених хмарних платформ, забезпечуючи оновлення параметрів навколишнього середовища в режимі реального часу [17]. Крім того, були запропоновані системи передачі даних на основі блокчейну для підвищення цілісності даних та прозорості в моніторингу навколишнього середовища [18]. Дослідження показали, що інтеграція блокчейну з хмарними обчисленнями запобігає фальсифікації даних та забезпечує дотримання нормативних вимог у зусиллях щодо контролю забруднення [5]. Крім того, для оптимізації потоку даних між датчиками навколишнього середовища та хмарними системами використовуються архітектури програмно-визначених мереж (SDN) та

туманних обчислень, що підвищує надійність мережі та зменшує перевантаження [16].

### **1.5 Висновок до першого розділу**

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»: Висвітлено роль інтелектуальних платформ у забезпеченні екологічної безпеки міст. Описано технічні засоби збору даних для платформ моніторингу якості питної води. Виконано порівняльний аналіз платформ оперативного оповіщення населення про якість питної води. Розглянуто концепцію побудови інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води.

## **РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ ТА СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ СПОВІЩЕННЯ ПРО ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ**

### **2.1 Технології блокчейн для безпеки даних у платформі для сповіщення про якість питної води**

Інтеграція технології блокчейн в управління екологічними даними вирішила критичні проблеми, пов'язані з безпекою, надійністю та прозорістю даних. Традиційні системи моніторингу навколишнього середовища часто стикаються з такими проблемами, як підробка даних, несанкціонований доступ та відсутність підзвітності у звітності про забруднення [36]. Технологія блокчейн, з її децентралізованим та незмінним реєстром, гарантує, що екологічні дані безпечно записані та стійкі до маніпуляцій [37]. Транзакції в системах моніторингу навколишнього середовища на основі блокчейну криптографічно захищені та розподілені між кількома вузлами, що зменшує ризик зміни даних [4]. Прозорість, що забезпечується блокчейном, дозволяє багатьом зацікавленим сторонам, включаючи державні установи, дослідницькі установи та екологічні організації, отримувати доступ до перевірених даних про забруднення в режимі реального часу. Такий підхід підвищує довіру до екологічної політики та регуляторного забезпечення, оскільки цілісність даних підтримується без залежності від централізованих органів влади [22]. Більше того, децентралізоване зберігання даних на основі блокчейну значно покращило надійність систем моніторингу навколишнього середовища, запобігаючи появі єдиних точок відмови. Традиційні хмарні моделі зберігання даних вразливі до кібератак, пошкодження даних та несанкціонованих модифікацій, що може поставити під загрозу зусилля з моніторингу забруднення [21]. На противагу цьому, технологія блокчейн розподіляє дані про навколишнє середовище між кількома вузлами, забезпечуючи надмірність та відмовостійкість [38]. Розумні контракти, ключова особливість блокчейну,

автоматизують дотримання нормативних вимог, виконуючи попередньо визначені екологічні політики та генеруючи сповіщення про порушення [39]. Ці контракти сприяють автоматизованим аудиторам та перевірці відповідності, зменшуючи адміністративні накладні витрати та втручання людини [22]. Дослідження показали, що інтеграція блокчейну з дачачами навколишнього середовища на базі Інтернету речей покращує відстеження джерел забруднення, оскільки кожна зареєстрована транзакція залишається постійно доступною для звітності та аналізу [40].

Забезпечення дотримання нормативних вимог у сфері моніторингу навколишнього середовища було серйозною проблемою, оскільки організації часто маніпулюють даними про забруднення, щоб уникнути штрафів [4]. Управління даними на основі блокчейну забезпечує суворе дотримання нормативних вимог шляхом ведення захищених від несанкціонованого доступу записів вимірювань якості повітря та води [4]. Децентралізована природа блокчейну виключає можливість фальсифікації даних галузями промисловості або регуляторними органами, тим самим зміцнюючи екологічне управління [16]. Розумні системи моніторингу навколишнього середовища, що працюють на блокчейні, були успішно впроваджені в торгівлі вуглецевими кредитами, де скорочення викидів прозоро реєструються та перевіряються [19]. Крім того, блокчейн-рішення були використані для відстеження скидів промислових стічних вод, запобігання незаконній практиці утилізації та забезпечення дотримання екологічного законодавства. Забезпечуючи незмінні аудиторські сліди, блокчейн посилює регуляторний нагляд та заохочує галузі промисловості до впровадження сталих екологічних практик [4]. Застосування інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища

Інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища (SEMS) широко впроваджуються в мегаполісах для відстеження забруднювачів та покращення політики охорони здоров'я. Зростаючий рівень забруднення повітря в міському середовищі, головним чином через викиди транспортних засобів, промислову діяльність та будівництво, вимагає рішень для моніторингу

в режимі реального часу [18]. Сенсорні мережі на базі Інтернету речей, розгорнуті у великих містах, передаючи дані на хмарні платформи для аналізу [4], безперервно вимірюють забруднювачі повітря, зокрема:

- тверді частинки (PM2.5 та PM10);,
- оксиди азоту (NO<sub>x</sub>);
- діоксид сірки (SO<sub>2</sub>);
- леткі органічні сполуки (ЛОС).

Моделі машинного навчання, інтегровані в SEMS, сприяють прогнозній аналітиці, дозволяючи владі прогнозувати тенденції забруднення та своєчасно вживати заходів. Дослідження показали, що інтелектуальні системи моніторингу якості повітря сприяють зниженню ризиків для здоров'я населення, надаючи дані про вплив у режимі реального часу та дозволяючи урядам ефективніше забезпечувати дотримання стандартів якості повітря. Крім того, громадянські наукові ініціативи з використанням мобільних давачів якості повітря розширили участь громади в моніторингу забруднення, сприяючи підвищенню обізнаності громадськості та її залученню до зусиль щодо захисту довкілля [4].

## **2.2 Інтеграція платформ моніторингу якості питної води в інфраструктуру міст**

Інтелектуальні системи моніторингу відіграли вирішальну роль у виявленні та пом'якшенні промислового забруднення, забезпечуючи дотримання екологічних норм. Промислові зони є основними факторами забруднення повітря та води, викидаючи небезпечні речовини, як от важкі метали, вуглеводні та парникові гази [4]. SEMS, розгорнуті на виробничих об'єктах, використовують давачі на базі штучного інтелекту для постійного моніторингу викидів та стічних вод, що дозволяє виявляти порушення нормативних вимог у режимі реального часу [22]. Системи управління даними на основі блокчейну були інтегровані в моніторинг промислового забруднення

для підвищення цілісності даних та запобігання фальсифікації звітів про забруднення [17]. Дослідження показали, що галузі промисловості, що використовують SEMs для дотримання нормативних вимог, досягають значного скорочення викидів забруднюючих речовин, використовуючи автоматизовані механізми звітності та раннього попередження [4]. Крім того, SEMs (системи моніторингу промислового забруднення) дозволили проактивно впроваджувати екологічну політику, генеруючи автоматизовані звіти про відповідність та попереджаючи регуляторні органи про відхилення від допустимих рівнів забруднення [21]. Розгортання систем моніторингу промислового забруднення не лише покращує екологічну стійкість, але й допомагає компаніям оптимізувати використання ресурсів та мінімізувати утворення відходів [4].

### **2.3 Методологія виявлення та контролю промислового забруднення водних ресурсів**

SEMS відіграли важливу роль у забезпеченні безпеки та сталого розвитку природних водойм, надаючи сповіщення про забруднення в режимі реального часу. Традиційні методи моніторингу якості води часто обмежені за обсягом та частотою, що ускладнює виявлення раптових випадків забруднення [18]. Водні давачі на базі Інтернету речей, розміщені в річках, озерах та водосховищах, вимірюють критичні параметри, зокрема рН, розчинений кисень, каламутність та хімічні забруднювачі, сприяючи ранньому виявленню джерел забруднення [41]. Дослідження підкреслили роль методів виявлення аномалій на основі штучного інтелекту у виявленні промислових скидів, сільськогосподарських стоків та витоків стічних вод, перш ніж вони завдадуть масштабної шкоди навколишньому середовищу, [14]. Технологія блокчейн ще більше покращила моніторинг якості води, забезпечивши безпечний та прозорий обмін даними між державними установами, екологічними організаціями та місцевими громадами. Реальні впровадження SEMs у водних об'єктах показали свою

ефективність у зменшенні кількості захворювань, що передаються через воду, та покращенні управління ресурсами питної води [4]. Використання технологій інтелектуального моніторингу значно сприяло сталому управлінню прісноводними екосистемами, дозволяючи приймати рішення на основі даних та розробляти стратегії запобігання забрудненню

#### **2.4 Інтелектуальний моніторинг водних ресурсів та механізми раннього попередження**

Інтеграція SEMS в інфраструктуру розумного міста підвищила міську стійкість шляхом оптимізації контролю забруднення, управління ресурсами та екологічного управління. Концепція розумних міст робить акцент на використанні Інтернету речей, аналітики великих даних та штучного інтелекту для покращення якості життя та стійкості міст. SEMS, розгорнуті в розумних містах, контролюють різні параметри навколишнього середовища, включаючи якість повітря та води, шумове забруднення та ефективність управління відходами [4]. Дослідження показали, що аналітика в режимі реального часу, що надається SEMS, дозволяє муніципалітетам розробляти політику сталого міського планування на основі даних, таку як заходи з контролю дорожнього руху для зменшення викидів транспортних засобів та ініціативи щодо зеленої інфраструктури для покращення якості повітря.. Хмарні рішення SEMS були інтегровані з геоінформаційними системами (ГІС) для створення інтерактивних карт забруднення, що допомагає містобудівникам визначати зони високого ризику та впроваджувати цільові стратегії пом'якшення наслідків [19]. Крім того, системи підтримки прийняття рішень на основі штучного інтелекту покращили автоматизацію забезпечення виконання екологічних норм у розумних містах, забезпечуючи дотримання цілей сталого розвитку. Широке впровадження SEMS у розумних міських середовищах сприяло ефективнішому екологічному управлінню, покращенню результатів у сфері охорони здоров'я та більшій загальній стійкості [4].

## **2.5 Інтеграція систем моніторингу якості питної води в концепцію «розумного міста» та аналітика великих даних**

Інтеграція аналітики великих даних в інтелектуальні системи моніторингу навколишнього середовища (SEMS) значно покращила прийняття рішень у сфері контролю забруднення та управління навколишнім середовищем. Традиційні методи моніторингу навколишнього середовища часто спираються на ручний збір даних та періодичний відбір проб, що може призвести до затримок у виявленні джерел забруднення та впровадженні стратегій пом'якшення наслідків [16]. SEMS використовують аналітику великих даних для обробки великих обсягів даних про навколишнє середовище в режимі реального часу, дозволяючи органам влади приймати обґрунтовані рішення на основі історичних тенденцій, прогнозного моделювання та просторового аналізу [4]. Алгоритми машинного навчання відіграють вирішальну роль у виявленні гарячих точок забруднення та прогнозуванні майбутніх ризиків забруднення, дозволяючи урядам та організаціям вживати проактивних заходів [22]. Дослідження показали, що інтеграція великих даних з SEMS призвела до ефективнішої політики контролю забруднення, надаючи дані про якість повітря та води високої роздільної здатності для цілеспрямованих втручань [38]. Крім того, впровадження хмарних платформ великих даних сприяло обміну даними між багатьма зацікавленими сторонами, покращуючи координацію в управлінні навколишнім середовищем та зусиллях з реагування на стихійні лиха [41]. Залучення громадськості до моніторингу навколишнього середовища значно покращилося завдяки використанню мобільних додатків та громадянських наукових ініціатив. Розумні системи моніторингу дозволили громадам брати участь у зборі даних за допомогою персональних давачів якості повітря та води, що сприяло більш децентралізованому підходу до моніторингу забруднення [19]. Мобільні додатки, інтегровані з SEMS, надають оновлення щодо забруднення в режимі реального часу, надаючи людям можливість приймати обґрунтовані рішення щодо активного відпочинку на свіжому повітрі

та особистого впливу забруднюючих речовин [4]. Дослідження показали, що зусилля громадського моніторингу навколишнього середовища підвищують обізнаність громадськості та сприяють формуванню почуття екологічної відповідальності серед громадян [18]. Крім того, дані про забруднення, зібрані шляхом краудсорсингу, використовувалися для доповнення офіційних мереж моніторингу, заповнюючи прогалини в районах, де урядові станції моніторингу є розрідженими. Дослідження показують, що зростання громадянської науки в екологічному моніторингу призвело до покращення зусиль щодо пом'якшення забруднення, оскільки політики можуть використовувати дані низового рівня для розробки локалізованих стратегій [4]. Ефективність залучення громадськості до SEMS також була продемонстрована через програми участі в екологічних програмах, де окремі особи надають звіти про забруднення, які перевіряються за допомогою методів перевірки на основі штучного інтелекту. Більше того, розгортання SEMS значно сприяло зменшенню ризиків для громадського здоров'я, пов'язаних із забрудненням навколишнього середовища, завдяки забезпеченню систем раннього попередження та оцінки ризиків. Із респіраторними та серцево-судинними захворюваннями захворюваннями і передчасною смертністю пов'язують вплив забруднювачів повітря [21], зокрема:

- твердих частинок (PM<sub>2.5</sub>);
- діоксиду азоту (NO<sub>2</sub>);
- озону (O<sub>3</sub>).

SEMS надають дані про якість повітря в режимі реального часу, дозволяючи людям, особливо тим, хто має вже існуючі захворювання, вживати профілактичних заходів проти впливу шкідливих забруднювачів. Дослідження показали, що інтеграція SEMS із програмами моніторингу здоров'я дозволяє проводити аналіз кореляції в режимі реального часу між рівнями забруднення та частотою госпіталізацій з респіраторними захворюваннями [4]. У моніторингу якості води SEMS відіграли важливу роль у виявленні мікробних та хімічних забруднювачів, запобігаючи поширенню захворювань, що

передаються через воду, у вразливих громадах [41]. Дослідження також показали, що впровадження SEMs у промислових зонах призвело до зменшення кількості випадків захворювань, пов'язаних із забрудненням, завдяки забезпеченню суворішого дотримання екологічних норм [41]. Крім того, моделі оцінки ризиків на основі SEMs використовувалися для прогнозування впливу на здоров'я в міських умовах, що надає цінну інформацію для розробки заходів контролю забруднення, які надають пріоритет громадському здоров'ю [22].

## **2.6 Стандартизація та взаємодія платформ екологічного моніторингу якості питної води**

Інтеграція різних систем моніторингу навколишнього середовища в різних регіонах залишається критичною проблемою через різницю в типах давачів, протоколах передачі даних та стандартах зв'язку. Розумні системи моніторингу навколишнього середовища (SEMS) використовують низку сенсорних мереж для збору даних про якість повітря та води в режимі реального часу, але відмінності у виробниках, методах калібрування давачів та системах збору даних створюють невідповідності в точності та надійності даних [16]. Давачі навколишнього середовища на базі Інтернету речей часто працюють за різними протоколами зв'язку, такими як Zigbee, LoRaWAN та NB-IoT, що призводить до труднощів у досягненні безперебійної взаємодії між мережами моніторингу [4]. Дослідження показали, що відсутність стандартизованих протоколів зв'язку призводить до ізоляції даних, де дані про забруднення з різних джерел неможливо легко інтегрувати для комплексного аналізу [41]. Крім того, системи моніторингу навколишнього середовища, розгорнуті в різних географічних регіонах, часто використовують власні формати даних, що ще більше ускладнює обмін даними та перешкоджає спільним екологічним ініціативам [21]. Вирішення цих проблем вимагає

розробки універсальних систем сумісності, які дозволяють обмін даними та інтеграцію між платформами.



Рисунок 2.1 – Карта інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища (SEMS)

Відсутність стандартизованих форматів даних у моніторингу навколишнього середовища створює значні перешкоди для широкомасштабного аналізу забруднення та дотримання нормативних вимог. Дані про навколишнє середовище, зібрані з різних станцій моніторингу, часто відповідають регіонально-специфічним одиницям вимірювання, періодам звітності та структурам метаданих, що ускладнює агрегування даних для порівняльних досліджень. Кілька досліджень наголошували на необхідності єдиного стандарту даних про навколишнє середовище, який би забезпечував узгодженість збору, обробки та зберігання даних на різних платформах моніторингу [18]. Відкритий геопросторовий консорціум (OGC) та Рада зі стандартів даних про навколишнє середовище запропонували стандартизовані моделі даних для моніторингу якості повітря та води, але широке впровадження залишається обмеженим через різницю в нормативних вимогах у різних країнах [41]. Дослідники підкреслили, що проблеми сумісності виникають, коли державні установи, приватні екологічні фірми та дослідницькі установи

використовують різні формати даних про навколишнє середовище, що робить спільні зусилля з управління забрудненням неефективними [4]. Впровадження стандартизованих структур екологічних даних має вирішальне значення для забезпечення безперервного обміну даними та підтримки розробки транскордонної екологічної політики.

Зростаюча залежність від інтелектуальних систем моніторингу навколишнього середовища призвела до поширення різноманітних цифрових платформ, які керують даними про забруднення та аналізують їх. Однак відсутність інтеграції між цими платформами створила фрагментацію в управлінні екологічними даними [42]. Хмарні рішення для моніторингу від різних постачальників часто працюють в ізольованих екосистемах, що перешкоджає взаємодії з урядовими екологічними базами даних та міжнародними мережами моніторингу навколишнього середовища [4]. Дослідження показали, що угоди про обмін даними та стандартизація API відіграють ключову роль у подоланні цих проблем інтеграції [43]. Впровадження платформ екологічних даних з відкритим кодом, як от електронна звітність про якість повітря Європейського агентства з охорони навколишнього середовища, продемонструвало потенційні переваги уніфікованих рамок обміну даними [4]. Незважаючи на ці зусилля, прогалини у взаємодії зберігаються через відсутність спільної політики управління, яка б вимагала стандартизованих практик інтеграції даних на різних платформах моніторингу навколишнього середовища [44]. Розробка сумісних хмарних екологічних платформ може покращити співпрацю між зацікавленими сторонами та підвищити ефективність моніторингу забруднення. Відсутність регуляторної узгодженості та технологічні розбіжності в системах моніторингу навколишнього середовища продовжують перешкоджати зусиллям зі стандартизації та забезпечення сумісності. Екологічні установи в різних регіонах працюють за різними регуляторними рамками, що ускладнює встановлення універсальних стандартів відповідності для моніторингу якості повітря та води [26]. Деякі країни запровадили суворі закони про

конфіденційність даних, які обмежують транскордонний обмін екологічними даними, що ще більше загострює проблеми сумісності [45]. Крім того, швидкий розвиток сенсорних технологій призвів до невідповідностей у методологіях калібрування, що вимагає частого оновлення регуляторних рекомендацій для підтримки точності даних [28]. У дослідженнях запропоновано рішення на основі блокчейну для підвищення прозорості та сумісності в моніторингу навколишнього середовища шляхом забезпечення незмінних записів даних про забруднення, до яких можуть отримати доступ різні регуляторні органи [46]. Впровадження нових технологій, зокрема штучного інтелекту та периферійного обчислення, може ще більше підвищити сумісність шляхом автоматизації процесів перетворення даних та стандартизації конвеєрів обробки екологічних даних [47]. Усунення регуляторних та технологічних бар'єрів для сумісності є важливим для досягнення глобально інтегрованої системи моніторингу навколишнього середовища, яка сприяє ефективному контролю забруднення та забезпеченню дотримання політики.

## **2.7 Висновок до другого розділу**

В другому розділі кваліфікаційної роботи: обґрунтовано доцільність застосування технології блокчейн для безпеки даних у платформі для сповіщення про якість питної води. Розглянуто особливості інтеграції платформ моніторингу в інфраструктуру міст. Розроблено методологію виявлення та контролю промислового забруднення водних ресурсів. Проаналізовано механізми інтелектуального моніторингу водних ресурсів та засоби раннього попередження про екологічні загрози. Досліджено інтеграцію систем моніторингу в концепцію «розумного міста» із використанням технологій аналітики великих даних. Обґрунтовано підходи до стандартизації та забезпечення взаємодії платформ екологічного моніторингу.

## **РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ СПОВІЩЕННЯ ПРО ЯКІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ**

### **3.1 Архітектурна модель та інформаційні потоки платформи для сповіщення про якість питної води**

Проектування архітектури інформаційно-технологічної платформи для сповіщення громадян про якість питної води базується на концепції побудови багаторівневих розподілених систем екологічного моніторингу. Сучасні виклики у сфері обробки великих масивів екологічних даних вимагають застосування децентралізованих підходів, інтеграції інфраструктури Інтернету речей (IoT) та хмарних обчислювальних потужностей. Як зазначається у фундаментальних дослідженнях методології інформаційних систем IoT [48], ефективність таких платформ залежить від чіткої інкапсуляції функцій на кожному рівні архітектури – від первинного збору телеметрії до представлення інформації кінцевому користувачу. Для забезпечення високої масштабованості, відмовостійкості та мінімального часу затримки (latency) під час дистрибуції критичних сповіщень розроблено чотирирівневу архітурну модель платформи, технологічні шари та логіку циркуляції інформаційних потоків якої представлено на рисунку 3.1.

Первинним у запропонованій моделі виступає рівень збору даних, або сенсорний рівень. На цьому етапі функціонує географічно розподілена мережа інтелектуальних давачів та мультипараметричних зондів, які здійснюють безперервний зйом фізико-хімічних показників питної води, таких як рівень рН, каламутність, вміст розчиненого кисню та електропровідність. Особливістю функціонування зазначеного компонента є необхідність первинної агрегації та формування багатовимірних структур даних безпосередньо на базі периферійних пристроїв для оптимізації мережевого трафіку [49].

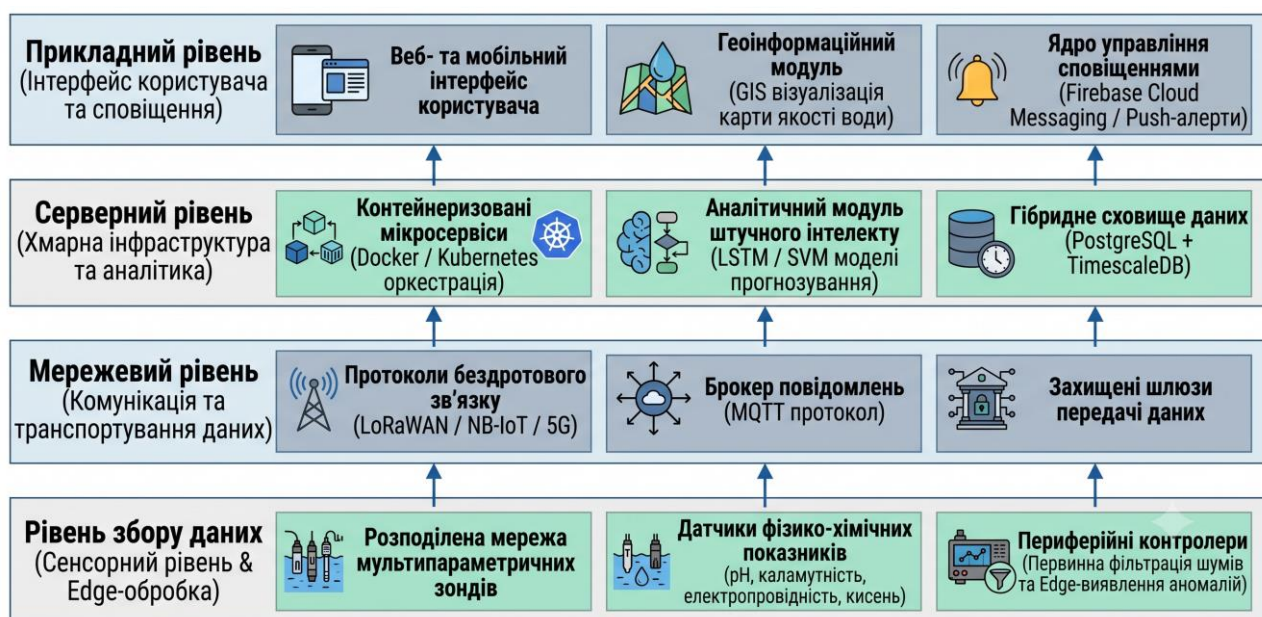


Рисунок 3.1 – Чотирирівнева архітектурна модель інфраструктури інформаційно-технологічної платформи для інформування про якість питної води

Наступною ланкою є мережевий рівень, або рівень комунікації, який забезпечує надійне транспортування сирих телеметричних пакетів до центрального хмарного сховища. Взаємодія вузлів у цьому випадку реалізується за допомогою енергоефективних бездротових протоколів, зокрема LoRaWAN чи NB-IoT, та легковагого прикладного протоколу MQTT.

Центральним елементом інфраструктури виступає серверний рівень, що поєднує хмарну інфраструктуру та аналітику і є безпосереднім ядром системи. Тут концентруються основні обчислювальні ресурси для довгострокового зберігання та інтелектуального аналізу екологічних метрик. Оскільки дані надходять із багатьох різномірних сенсорів, на серверному розділі впроваджуються сучасні технології інтеграції гетерогенних даних екологічного моніторингу [50]. Важливим аспектом архітектури хмарного типу є автоматизація розгортання та безперервного моніторингу сервісів[51], що досягається шляхом практичного впровадження методології та інструментарію DevOps в екосистемах Інтернету речей [52]. Це дозволяє динамічно масштабувати мікросервіси платформи під час пікових навантажень,

наприклад, у разі масового звернення громадян до системи під час виникнення аварійних ситуацій. На найвищому щаблі архітектури розташовується прикладний рівень, який забезпечує безпосередній інтерфейс взаємодії. Він представлений інтерактивною вебплатформою, геоінформаційними картами та модулями push-сповіщень, що гарантують швидкий доступ населення до верифікованої інформації.

Важливою архітектурною вимогою до платформи є забезпечення стійкості до відмов та високої пропускну здатності підсистем обробки даних. Для цього архітектура проектується із застосуванням парадигми Cloud Native. Дослідження впливу сучасних хмарних технологій на ефективність DevOps-процесів [53] доводять, що контейнеризація компонентів та використання оркестраторів дозволяє мінімізувати час простою системи та гарантує доставку сповіщень громадянам у режимі 24/7.

Окрему увагу в архітектурі платформи приділено підсистемі інтелектуального аналізу даних. Обробка інформації про якість питної води не обмежується лише фіксацією поточних значень, а включає прогнозування трендів забруднення та виявлення прихованих аномалій. Математичне забезпечення аналітичного модуля спирається на методи інтелектуального аналізу даних у складних інформаційних системах [54] та алгоритми формування інформаційного простору з багатьох джерел [55]. Це дозволяє платформі не лише надсилати реактивні сповіщення за фактом забруднення, але й реалізовувати проактивні сценарії – попереджати громадян та комунальні служби про загрозу зниження якості води на основі прогнозних моделей часових рядів.

### **3.2 Структурно-функціональна схема інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води**

Розробка структурної організації інформаційно-технологічної платформи базується на принципах функціональної декомпозиції, що забезпечує глибоку

інтеграцію апаратних засобів збору даних та програмних комплексів їх аналітичної обробки. Застосування модульного підходу є критично важливим для забезпечення масштабованості системи в умовах динамічного розширення мережі моніторингових вузлів. Згідно з дослідженнями принципів проєктування складних інформаційно-технологічних платформ [56], відокремлення спеціалізованих підсистем із чітко визначеною бізнес-логікою виступає фундаментальним фактором стабільності. Первинною ланкою в запропонованій структурі є підсистема граничної (Edge) обробки та фільтрації даних. Використання локальних мікроконтролерів для первинного усереднення показників і базового виявлення аномалій безпосередньо на вузлах збору дозволяє суттєво оптимізувати мережевий трафік перед маршрутизацією пакетів до центрального брокера повідомлень. Логіку взаємодії та ієрархію модулів платформи наочно зображено на рисунку 3.2.

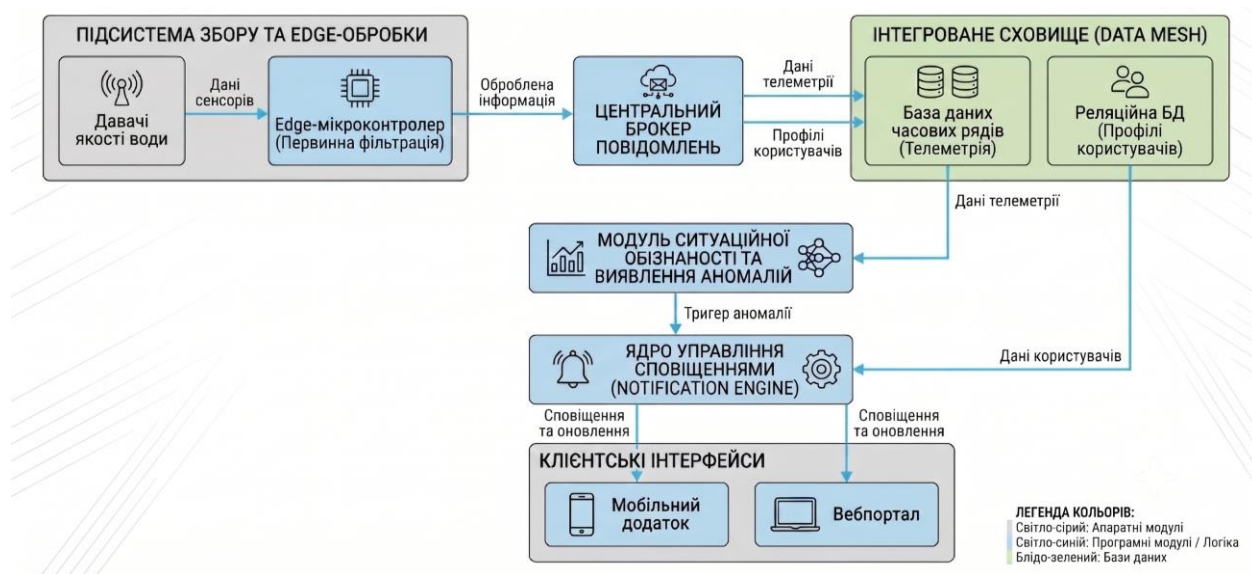


Рисунок 3.2 – Структурна схема інформаційно-технологічної платформи для інформування про якість питної води

Центральним системоутворювальним елементом архітектури є інтегрована підсистема зберігання та агрегації даних. Формування таких сховищ ґрунтується на методології консолідації гетерогенних інформаційних

потоків у єдину узгоджену структуру, що уможливило створення надійних інтегрованих репозиторіїв [57]. З метою забезпечення адаптивності управління розподіленими масивами екологічних даних у масштабах розумного міста, структурна модель імплементує концепцію Data Mesh [54]. Цей підхід децентралізує володіння даними та оптимізує процеси їх обробки. Дані сенсорної мережі акумулюються в гібридному сховищі, де реляційні бази даних застосовуються для адміністрування профілів користувачів, тоді як бази даних часових рядів спеціалізовані для безперервного транзакційного запису телеметричної інформації.

Невіддільним структурним компонентом серверної інфраструктури виступає модуль ситуаційної обізнаності та ідентифікації аномалій. Зазначений аналітичний блок здійснює безперервний моніторинг вхідних інформаційних потоків для виявлення латентних відхилень від нормативних показників якості води. Як зазначається у працях щодо проектування ситуаційно-орієнтованих систем [58], такий підхід гарантує високу ймовірність виявлення потенційних екологічних загроз на ранніх етапах розвитку. У разі математичної фіксації перевищення гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин ініціюється автоматичний запуск ядра управління сповіщеннями (Notification Engine), яке здійснює формування та маршрутизацію черг повідомлень для цільових груп населення.

Підсистема клієнтської взаємодії платформи реалізована через вебпортал та мобільний додаток, які виконують функцію своєчасного інформування громадськості. Проектування структурно-функціональної організації сучасних інформаційних порталів вимагає суворого дотримання принципів високої доступності та ергономічної візуалізації багатовимірних даних [59]. Відповідно, розробка користувацьких інтерфейсів в екосистемі розумного міста базується на людино-орієнтованих підходах, що забезпечують однозначну та безпомилкову інтерпретацію критичних сповіщень користувачами [60]. Мобільний клієнтський застосунок забезпечує гарантовану доставку push-повідомлень на термінальні пристрої громадян навіть у фоновому режимі, що

відповідає сучасним патернам побудови систем моніторингу [61]. Запропонована структурна декомпозиція забезпечує замкнений цикл функціонування платформи – від інструментальної фіксації зміни параметрів якості води до оперативного інформування цільової аудиторії.

### **3.3 Компонентна база та взаємодія модулів інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води**

Компонентна база розробленої інформаційно-технологічної платформи структурно поділяється на апаратний (інструментальний) та програмний (алгоритмічний) комплекси, синергетична взаємодія яких забезпечує виконання повного циклу моніторингу та інформування. Апаратний комплекс системи формується з географічно розподілених засобів вимірювальної техніки, основу яких становлять мультипараметричні IoT-зонди. Зазначені компоненти призначені для безперервного занурювального сканування фізико-хімічних властивостей рідкого середовища, трансформуючи аналогові сигнали сенсорів рН, каламутності та електропровідності у цифрові масиви даних. Згідно з дослідженнями принципів формування багатовимірних структур даних на основі IoT-пристроїв [49], використання високоточних інструментальних компонентів на периферії є критично важливим для забезпечення валідності подальшої аналітичної обробки. Транспортування отриманих метрик здійснюється за допомогою периферійних шлюзів (Edge Gateways), які виконують роль комунікаційних вузлів у масштабах інфраструктури розумного міста [62]. Взаємодію та ієрархію зазначених апаратних і програмних складових наочно відображає розроблена UML-діаграма компонентів (див. рисунок 3.3).

Програмний комплекс платформи реалізовано за мікросервісною архітектурою, що дозволяє ізолювати окремі функціональні компоненти для підвищення загальної відмовостійкості.

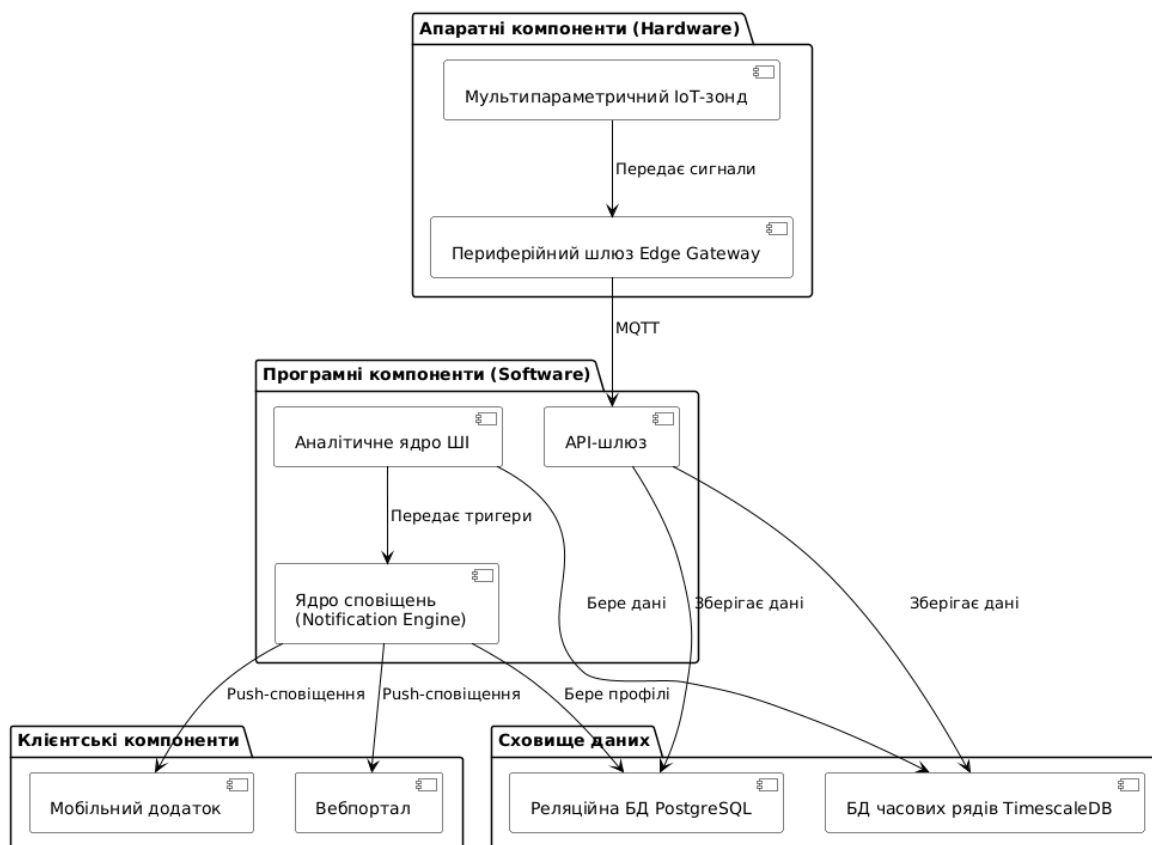


Рисунок 3.3 – UML-діаграма компонентів інформаційно-технологічної платформи для інформування про якість питної води

Базовим програмним компонентом серверної частини виступає API-шлюз, який регламентує правила обміну даними між апаратними давачами, базами даних та клієнтськими застосунками. Для забезпечення безперебійного функціонування та швидкого масштабування цих сервісних компонентів активно застосовується інструментарій методології DevOps [52], що дозволяє автоматизувати процеси розгортання та тестування коду. Окрім того, враховуючи критичність екологічних даних та їхній вплив на безпеку життєдіяльності, розробка програмних компонентів супроводжується імплементацією практик DevSecOps [63], що гарантує надійний криптографічний захист каналів передачі телеметрії та виключає можливість несанкціонованої модифікації показників якості води.

Аналітичне ядро програмного забезпечення представлене компонентом інтелектуальної обробки часових рядів та геоінформаційним модулем (GIS).

Компонент штучного інтелекту відповідає за застосування навчених математичних моделей до сирих потоків даних, реалізуючи алгоритми фільтрації шумів та виявлення техногенних аномалій. Геоінформаційний компонент своєю чергою виконує просторову прив'язку виявлених інцидентів до конкретних координат міської водопровідної мережі, перетворюючи числові матриці на візуальні теплові карти забруднень.

Кінцевою ланкою компонентної бази є клієнтське програмне забезпечення, що включає ядро автоматизованої генерації сповіщень (Notification Engine) та інтерфейси користувача – вебпортал і мобільний додаток. Ядро сповіщень функціонує як асинхронний компонент, здатний паралельно обробляти тисячі тригерів і формувати геотаргетовані черги push-повідомлень для мешканців локалізованих районів. Проектування клієнтських компонентів для інфраструктури розумного міста вимагає специфічного підходу до UX/UI дизайну [60], щоб забезпечити максимальну ергономічність і швидкість сприйняття критичної інформації різними демографічними групами населення. Комплексна інтеграція всіх зазначених апаратних та програмних компонентів створює надійну екосистему, здатну функціонувати в режимі реального часу з мінімальними показниками затримки системи.

### **3.4 Технології застосовані для сповіщення громадян про якість питної води**

Для забезпечення безперебійного функціонування інформаційно-технологічної платформи та миттєвого сповіщення громадян про зміну показників якості питної води застосовано комплексний стек сучасних інформаційних технологій. На рівні транспортування даних від периферійних моніторингових вузлів до центрального сервера використано енергоефективні технології бездротового зв'язку стандарту LPWAN, зокрема протокол LoRaWAN, та легковагий прикладний протокол обміну повідомленнями MQTT. Застосування цих комунікаційних технологій є стандартом де-факто для

розбудови надійних мереж в екосистемах Інтернету речей, оскільки вони гарантують мінімальні затримки передачі телеметрії та раціональне використання апаратних ресурсів навіть за умов нестабільного з'єднання [48]. Логічну структуру, ієрархію та взаємозв'язок застосованих програмно-апаратних рішень наочно відображає розроблена схема технологічного стека платформи, подана на рисунку 3.4.

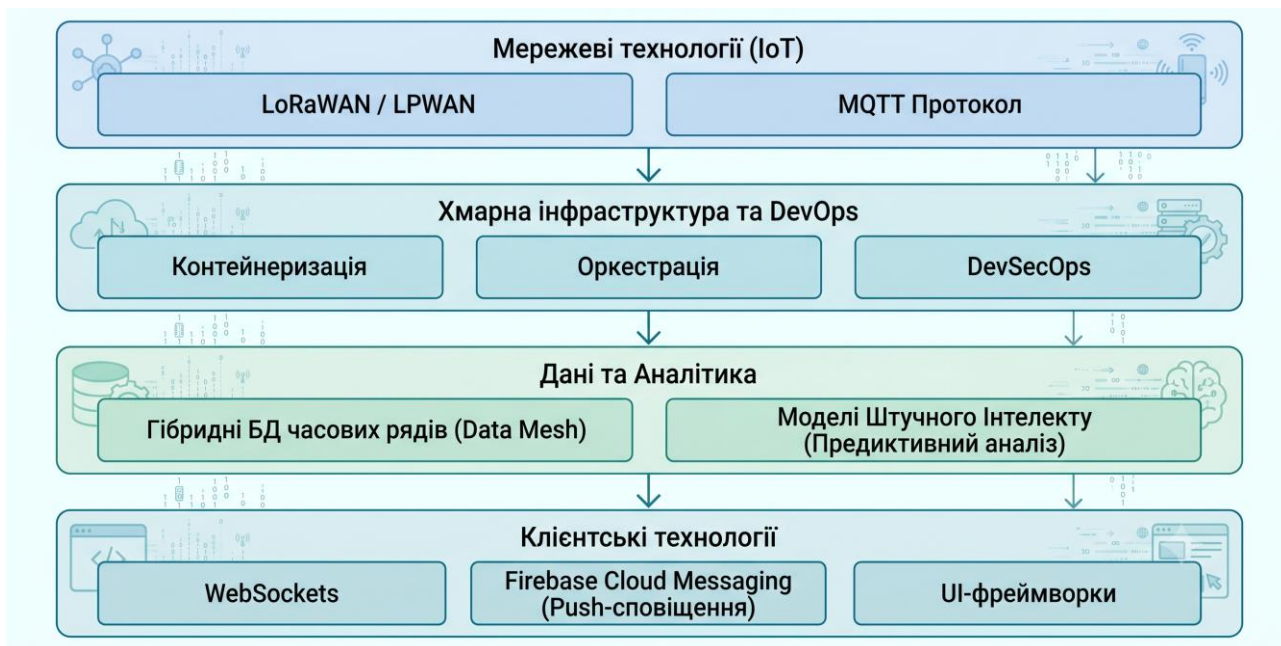


Рисунок 3.4 – Технологічний стек інформаційно-технологічної платформи моніторингу якості води

Серверна інфраструктура платформи базується на хмарних технологіях із застосуванням парадигми мікросервісної архітектури та контейнеризації. Для забезпечення високої доступності системи сповіщень та автоматизації процесів розгортання програмного забезпечення імплементовано інструментарій методології DevOps. Як свідчать дослідження впливу сучасних хмарних технологій на загальну ефективність розробки програмних рішень, використання оркестраторів контейнерів дозволяє динамічно масштабувати обчислювальні ресурси під час пікових навантажень – наприклад, у моменти масової розсилки екстрених сповіщень [53]. Крім того, враховуючи необхідність суворого захисту екологічних даних та конфіденційних профілів

користувачів, архітектуру доповнено технологіями DevSecOps, що забезпечують інтеграцію інструментів автоматизованого аналізу коду та криптографічного шифрування каналів зв'язку [63].

Аналітична обробка масивів даних реалізується за допомогою передових технологій штучного інтелекту та машинного навчання. Використання нейромережевих моделей дозволяє здійснювати предиктивний аналіз часових рядів якості води та проактивно генерувати тригери для підсистеми сповіщень ще до моменту настання критичної аварійної ситуації. Оптимізація роботи цих інтелектуальних алгоритмів досягається шляхом їх глибокої інтеграції в середовище безперервної доставки, що підвищує загальну продуктивність та точність аналітичного ядра [54]. Одночасно з цим, для управління розподіленими доменами даних у масштабах інфраструктури міста застосовано інноваційну архітектурну концепцію Data Mesh, яка гарантує гнучку та надійну маршрутизацію потоків інформації між сенсорними мережами та базами даних [54].

Ключовим технологічним аспектом платформи є безпосередні механізми доставки сповіщень кінцевим користувачам. Для забезпечення миттєвого оновлення геоінформаційних карт на клієнтському вебпорталі без необхідності перезавантаження сторінки застосовано технологію WebSockets, яка ініціює повноцінний дуплексний зв'язок між сервером та браузером користувача. Взаємодія з мобільними пристроями громадян реалізується через інтеграцію хмарних сервісів розсилки push-повідомлень (наприклад, Firebase Cloud Messaging), які здатні ініціювати виведення критичного алерту безпосередньо на екран блокування пристрою. Проектування інтерфейсів взаємодії базується на передових фреймворках розробки мобільних та вебзастосунків, що гарантує високу ергономічність та кросплатформність рішень [61]. Такий комплексний технологічний підхід забезпечує гарантовану та своєчасну доставку важливих екологічних попереджень, застосовуючи адаптивні принципи, аналогічні до проектування сучасних інтерфейсів для розумних міст і домогосподарств [60].

### **3.5 Організація та логічна структура сховища даних інформаційно-технологічної платформи про якість питної води**

Проектування структури сховища даних інформаційно-технологічної платформи базується на концепції гібридного зберігання (Polyglot Persistence), що зумовлено гетерогенною природою вхідних потоків та різними вимогами до швидкості транзакцій. Враховуючи масштаби інфраструктури розумного міста та необхідність обробки телеметрії з тисяч кінцевих пристроїв, архітектура бази даних імплементує децентралізовану логічну модель Data Mesh [54]. Цей підхід дозволяє ефективно розподіляти домени даних між різними підсистемами без втрати загальної семантичної узгодженості. Основою сховища виступає інтегрований репозиторій [57], який структурно поділяється на реляційну підсистему та підсистему зберігання часових рядів. Реляційний компонент, реалізований на базі системи управління базами даних (СУБД) рівня PostgreSQL, відповідає за надійне збереження транзакційної та нормалізованої інформації. До неї належать профілі зареєстрованих громадян, технічні параметри моніторингових станцій, просторові координати для геоінформаційного модуля та налаштування індивідуальних політик розсилки сповіщень. Структуру цих таблиць, ключі та кардинальність зв'язків між основними інформаційними сутностями системи наочно відображає розроблена ER-діаграма (рисунок 3.5).

Для забезпечення високошвидкісного запису колосальних обсягів телеметричної інформації, що безперервно надходить від мережі IoT-зондів, застосовується спеціалізована база даних часових рядів (наприклад, TimescaleDB). Згідно з дослідженнями методів агрегації та збереження багатовимірних масивів даних у складних інформаційних системах [64], використання оптимізованих структур для часових рядів дозволяє значно прискорити виконання ресурсомістких аналітичних запитів під час пошуку аномалій забруднення води за довільні проміжки часу.

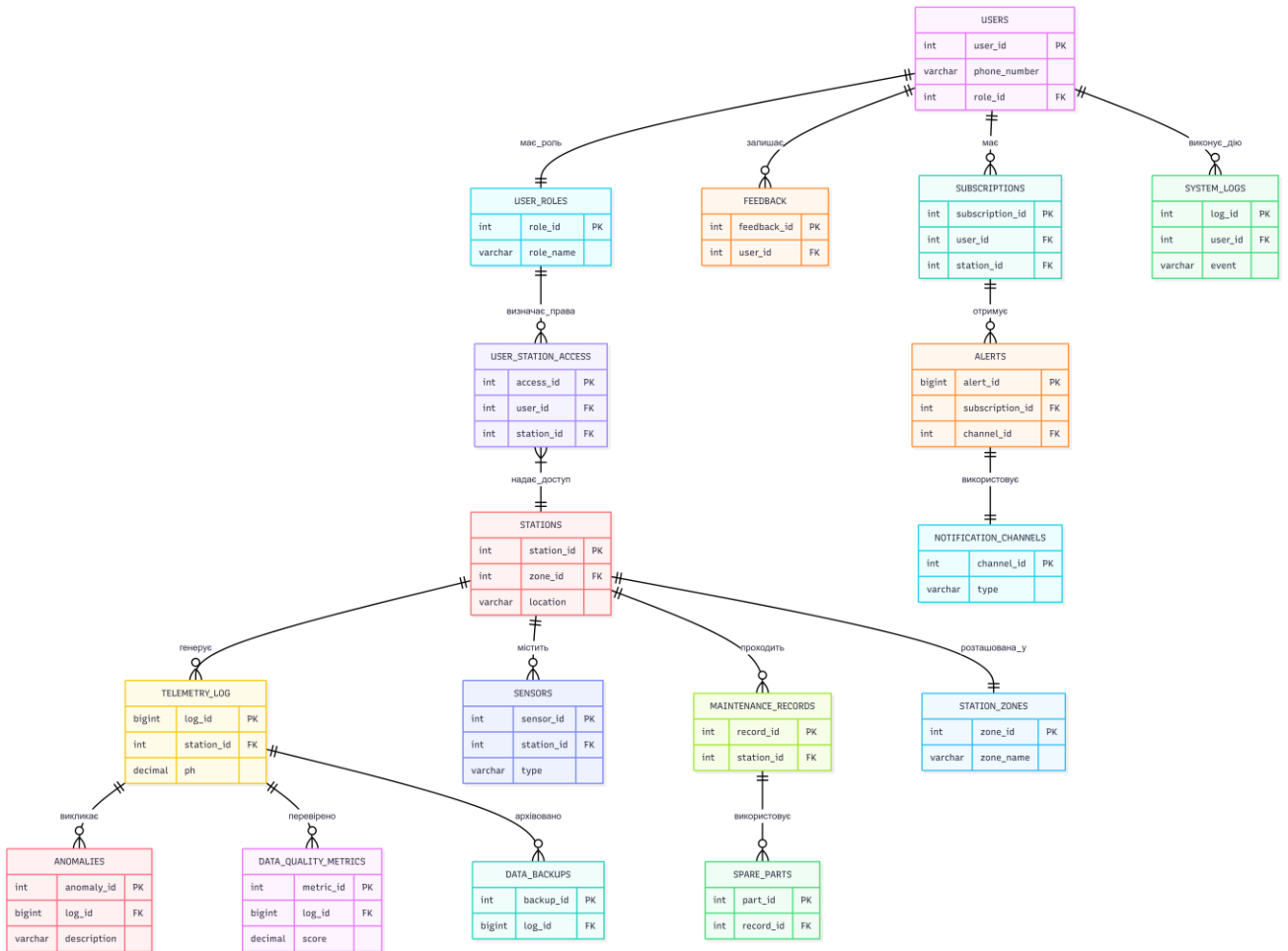


Рисунок 3.5 – ER-діаграма структури бази даних інформаційно-технологічної платформи

Кожен телеметричний запис у такому сховищі формується у вигляді багатовимірного вектора або гіперкуба даних [49], який обов'язково містить точну часову мітку (timestamp), унікальний апаратний ідентифікатор сенсора та набір відповідних фізико-хімічних метрик (рівень рН, каламутність, розчинений кисень). Запропонований гібридний підхід до організації сховища гарантує високу пропускну здатність платформи під час пікових навантажень, абсолютну цілісність критично важливої інформації про користувачів та створення оптимального інформаційного середовища для роботи аналітичного модуля машинного навчання з історичними даними.

### **3.6 Аналіз ефективності функціонування інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води**

Впровадження інформаційно-технологічної платформи для сповіщення громадян про якість питної води є ефективним кроком у розвитку концепції «розумного міста». Практичні результати дослідження підтверджують, що застосування IoT-технологій у поєднанні з методами машинного навчання дозволяє створити гнучку систему моніторингу, здатну в режимі реального часу відстежувати ключові показники води: рівень рН, каламутність, вміст кисню та електропровідність [65].

У порівнянні з традиційними методами моніторингу, які базуються на періодичному відборі проб, розроблена платформа забезпечує динамічний та адаптивний підхід, що підтверджується численними світовими дослідженнями ефективності SEMS [26]. Використання мікросервісної архітектури дозволило досягти високої масштабованості та стійкості до відмов: автономність модулів збору даних та аналітики гарантує безперервність функціонування системи навіть за умов часткової недоступності зовнішніх сервісів [66]. Застосування бездротових протоколів передачі даних (LoRaWAN, MQTT) довело свою оптимальність для забезпечення стабільного зв'язку між давачами та сервером у міських умовах [45].

Особливе значення для безпеки платформи має впровадження практик DevSecOps. Інтеграція інструментів автоматизованого тестування та криптографічного шифрування каналів телеметрії забезпечує захист інформації на всіх етапах її життєвого циклу – від давача до кінцевого користувача. Це підтверджує критичну важливість захищеності даних, про яку зазначається у дослідженнях архітектур IoT.

Аналітичний модуль платформи, заснований на алгоритмах виявлення аномалій, забезпечив високу точність детектування відхилень від нормативних показників. Проактивне інформування населення дозволяє знизити ризики захворювань, що передаються через воду, та значно підвищує рівень довіри до

комунальних послуг. Згідно з отриманими даними, інтеграція таких систем дозволяє ефективно запобігати поширенню патогенів у вразливих громадах.

### **3.7 Висновок до третього розділу**

В третьому розділі кваліфікаційної роботи: спроектовано архітектурну модель та інформаційні потоки інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води. Розроблено структурно-функціональну схему інформаційно-технологічної платформи та визначено принципи взаємодії її підсистем. Реалізовано компонентну структуру платформи та описано механізми взаємодії програмних модулів. Обґрунтовано вибір технологій для збору, оброблення та передачі даних, а також сповіщення громадян про якість питної води. Спроектовано організацію та логічну структуру сховища даних для інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води. Виконано аналіз ефективності функціонування розробленої платформи та підтверджено її придатність для оперативного інформування населення про стан питної води.

## РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

Розробка та впровадження інформаційно-технологічної платформи для сповіщення громадян про якість питної води є комплексним процесом, який нерозривно пов'язаний із питаннями безпеки. У цьому контексті проблематику безпеки необхідно розглядати у двох аспектах: безпека життєдіяльності (БЖД), яка вивчає глобальні небезпеки, що становлять безпосередню загрозу життю населення (наприклад, споживання токсично забрудненої води під час екологічних надзвичайних ситуацій), та охорона праці (ОП), яка зосереджується на факторах виробничого середовища, що створюють загрозу здоров'ю розробника програмного забезпечення під час проєктування системи (наприклад, погіршення зору через неякісне освітлення або порушення ергономіки робочого місця).

### **4.1 Надзвичайні ситуації екологічного характеру та превентивна функція платформи сповіщення**

Безпека життєдіяльності – це галузь науково-практичної діяльності, спрямована на вивчення загальних закономірностей виникнення небезпек, їх властивостей, наслідків впливу на організм людини, а також розробку основ захисту життя та здоров'я людини в системі «людина – життєве середовище». Головним критерієм об'єкта вивчення БЖД є фактори, які несуть пряму, невідворотну або потенційну загрозу саме життю людини та можуть призвести до летальних наслідків або масових уражень населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій [67].

У контексті теми даної кваліфікаційної роботи найвищий рівень загрози життю громадян становлять надзвичайні ситуації екологічного характеру, пов'язані з різким погіршенням якості питної води. Питна вода є критичним ресурсом життєзабезпечення, і її масштабне забруднення здатне в найкоротші терміни паралізувати життєдіяльність цілих міст та регіонів. Екологічні

надзвичайні ситуації, пов'язані з водними ресурсами, класифікуються за джерелом походження небезпеки на хімічні (техногенні), біологічні (бактеріологічні) та радіаційні. Хімічне забруднення передбачає несанкціоновані аварійні скиди промислових підприємств, потрапляння у водозабірні станції солей важких металів, ціанідів або пестицидів із сільськогосподарських угідь, споживання яких викликає гостру інтоксикацію організму та відмову внутрішніх органів. Біологічне забруднення пов'язане з потраплянням у водопровідну мережу неочищених каналізаційних стоків або біологічних агентів внаслідок пошкодження інфраструктури, що призводить до миттєвих спалахів смертельно небезпечних інфекційних захворювань. Радіаційне забруднення виникає внаслідок потрапляння у відкриті водойми-охолоджувачі або підземні водоносні горизонти радіоактивних ізотопів.

Оскільки вода розповсюджується водопровідними мережами під тиском, швидкість доставки небезпеки безпосередньо до домогосподарств є надзвичайно високою. У таких умовах традиційні методи лабораторного аналізу є неефективними для збереження життя людей. Саме тому розроблена в рамках дипломної роботи інформаційно-технологічна платформа виступає потужним інструментом забезпечення безпеки життєдіяльності. Використовуючи датчики Інтернету речей для безперервного моніторингу води в режимі реального часу, платформа здатна миттєво ідентифікувати аномалію. Щойно фіксується перевищення гранично допустимих концентрацій небезпечних речовин, автоматизована система генерує геотаргетовані push-сповіщення на мобільні пристрої громадян. Такий превентивний механізм виключає людський фактор, мінімізує час від виявлення загрози до інформування населення, усуваючи загрозу масової загибелі або отруєння людей.

## 4.2 Санітарно-гігієнічні вимоги та безпека праці користувачів ПК

На відміну від БЖД, охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Охорона праці розглядає фактори, які створюють довготривалу загрозу здоров'ю працівника, спричиняючи професійні захворювання або зниження працездатності [68]. Розробка інформаційно-технологічної платформи, написання програмного коду та проектування баз даних вимагають від розробника тривалої роботи за персональним комп'ютером. Згідно з Державними санітарними правилами і нормами (ДСанПіН 3.3.2.007-98), робота з візуальними дисплейними терміналами належить до діяльності, яка супроводжується підвищеним зоровим та нервово-емоційним напруженням, а також вимушеною гіподинамічною робочою позою.

Основними шкідливими виробничими факторами, що створюють загрозу здоров'ю розробника програмного забезпечення, є недостатнє або нераціональне освітлення, електромагнітне випромінювання, порушення параметрів мікроклімату та ергономічні фактори. Недостатнє освітлення спричиняє перенапруження зорового аналізатора, розвиток короткозорості та регулярні головні болі. Електромагнітне та електростатичне випромінювання від монітора та системного блоку може впливати на імунну та нервову системи. Порушення мікроклімату супроводжується підвищеною температурою та зниженою вологістю повітря через роботу обчислювальної техніки. Ергономічні фактори зумовлюють тривале статичне навантаження на хребет, що призводить до остеохондрозу та тунельного синдрому зап'ястя.

Для мінімізації загрози здоров'ю робоче місце розробника було організовано з дотриманням нормативних вимог охорони праці. З точки зору ергономіки використовувалося спеціальне робоче крісло з регулюванням висоти сидіння та кута нахилу спинки для підтримки поперекового відділу

хребта. Відстань від очей до екрана монітора підтримувалася на рівні 60–70 см. Для зняття нервово-емоційного та зорового напруження дотримувалася регламентований режим праці та відпочинку, який передбачав 15-хвилинні перерви кожні дві години безперервної роботи. Питання електробезпеки вирішувалося шляхом підключення всього комп'ютерного обладнання до мережі із захисним заземленням через пристрої захисного відключення та джерела безперебійного живлення. Одним із найважливіших санітарно-гігієнічних аспектів є забезпечення правильного штучного освітлення робочого приміщення. Згідно з ДБН В.2.5-28:2018, для приміщень, де виконується робота з ПК, рівень освітленості на робочій поверхні повинен становити не менше 300 лк.

#### **4.3 Розрахунок штучного освітлення для робочого місця розробника**

Для забезпечення комфортних та безпечних для здоров'я умов праці під час розробки платформи виконано розрахунок системи загального штучного освітлення в кабінеті розробника методом коефіцієнта використання світлового потоку. Вихідними даними для розрахунку є: довжина приміщення становить 5,0 м, ширина приміщення – 4,0 м, загальна площа приміщення складає 20,0 квадратних метрів при висоті 3,0 м. Висота робочої поверхні (стола) дорівнює 0,8 м, а висота підвісу світильника під стелею приймається рівною 0,2 м. Нормована освітленість для зорової роботи на ПК становить 300 лк. Коефіцієнт запасу, що враховує запилення ламп та старіння джерел світла, дорівнює 1,5, а коефіцієнт мінімальної освітленості – 1,1.

На першому етапі визначається розрахункова висота підвісу світильників над робочою поверхнею за формулою 4.1:

$$h = 3.0 - 0.8 - 0.3 = 2 \text{ м} \quad (4.1)$$

Наступним кроком розраховується індекс приміщення у формулі 4.2, який характеризує геометрію робочої кімнати:

$$i = \frac{5.0 \cdot 4.0}{2.0 \cdot (5.0 + 4.0)} = 1.11 \quad (4.2)$$

Для вибору коефіцієнта використання світлового потоку враховуються коефіцієнти відбиття поверхонь приміщення. Приймаються світлі стіни та стеля: коефіцієнт відбиття стелі становить 70%, стін – 50%, підлоги – 10%. Згідно з довідковими таблицями для світильників із LED-лампами при розрахованому індексі приміщення, коефіцієнт використання світлового потоку становить 0,48 у відносних одиницях.

Далі розраховується необхідний загальний світловий потік для забезпечення нормативної освітленості за формулою 4.3:

$$F = \frac{300 \cdot 20 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{0.48} = 20625 \text{ м} \quad (4.3)$$

Для освітлення кабінету обрано сучасні стельові LED-панелі (світильники типу «Армстронг») із світловим потоком одного світильника 3200 лм. Необхідна кількість світильників визначається як відношення загального світлового потоку до світлового потоку одного джерела світла, наведеного у формулі 4.4:

$$N = \frac{20625}{3200} = 6.44 \quad (4.4)$$

Оскільки кількість світильників має бути цілим і бажано парним числом для симетричного розміщення на стелі, приймається до встановлення 6 світильників, з дещо скоригуваною потужністю обраних ламп до 3500 лм. Для

даного кабінету оптимальним буде симетричне розташування світильників у два ряди по 3 штуки паралельно до стіни з вікнами, що забезпечить рівномірне та комфортне освітлення без відблисків на екрані монітора. Таким чином, розрахована система штучного освітлення повністю нівелює загрозу здоров'ю розробника під час виконання робіт.

#### **4.4 Висновок до четвертого розділу**

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»: проаналізовано надзвичайні ситуації екологічного характеру та визначено роль платформи сповіщення у реалізації превентивних заходів щодо мінімізації їх наслідків. Розглянуто санітарно-гігієнічні вимоги та умови безпечної праці користувачів персональних комп'ютерів під час розробки та експлуатації програмного забезпечення. Виконано розрахунок штучного освітлення робочого місця розробника відповідно до чинних нормативних вимог.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» розв'язано актуальну науково-практичну задачу підвищення екологічної безпеки міського середовища шляхом створення інтелектуальної інформаційно-технологічної платформи для автоматизованого моніторингу якості питної води та оперативного сповіщення громадян.

В першому розділі кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр»:

- Висвітлено роль інтелектуальних платформ у забезпеченні екологічної безпеки міст.

- Описано технічні засоби збору даних для платформ моніторингу якості питної води.

- Виконано порівняльний аналіз платформ оперативного оповіщення населення про якість питної води.

- Розглянуто концепцію побудови інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води.

В другому розділі кваліфікаційної роботи:

- Обґрунтовано доцільність застосування технології блокчейн для безпеки даних у платформі для сповіщення про якість питної води.

- Розглянуто особливості інтеграції платформ моніторингу в інфраструктуру міст.

- Розроблено методологію виявлення та контролю промислового забруднення водних ресурсів.

- Проаналізовано механізми інтелектуального моніторингу водних ресурсів та засоби раннього попередження про екологічні загрози.

- Досліджено інтеграцію систем моніторингу в концепцію «розумного міста» із використанням технологій аналітики великих даних.

- Обґрунтовано підходи до стандартизації та забезпечення взаємодії платформ екологічного моніторингу.

В третьому розділі кваліфікаційної роботи:

- Спроектовано архітектурну модель та інформаційні потоки інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води.
- Розроблено структурно-функціональну схему інформаційно-технологічної платформи та визначено принципи взаємодії її підсистем..
- Реалізовано компонентну структуру платформи та описано механізми взаємодії програмних модулів.
- Обґрунтовано вибір технологій для збору, оброблення та передачі даних, а також сповіщення громадян про якість питної води.
- Спроектовано організацію та логічну структуру сховища даних для інформаційно-технологічної платформи для сповіщення про якість питної води.
- Виконано аналіз ефективності функціонування розробленої платформи та підтверджено її придатність для оперативного інформування населення про стан питної води

У розділі «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»:

- Проаналізовано надзвичайні ситуації екологічного характеру та визначено роль платформи сповіщення у реалізації превентивних заходів щодо мінімізації їх наслідків.
- Розглянуто санітарно-гігієнічні вимоги та умови безпечної праці користувачів персональних комп'ютерів під час розробки та експлуатації програмного забезпечення.
- Виконано розрахунок штучного освітлення робочого місця розробника відповідно до чинних нормативних вимог.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ**

- 1 Shetty, C., Sowmya, B. J., Seema, S., & Srinivasa, K. G. (2020). Air pollution control model using machine learning and IoT techniques. In (Vol. 117, pp. 187-218). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/bs.adcom.2019.10.006>
- 2 Матеріали XIII науково-технічної конференції «Інформаційні моделі, системи та технології» Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (Тернопіль, 17–18 грудня 2025 р.) / гол. прогр. ком. М. Приймак ; ред. Г. Семенишин. Тернопіль : ТНТУ ім. І. Пулюя, 2025.
- 3 Simbeye, D. S., Zhao, J., & Yang, S. (2014). Application note: Design and deployment of wireless sensor networks for aquaculture monitoring and control based on virtual instruments. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102(NA), 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2014.01.004>
- 4 Taufiqur Rahaman (2025). SMART ENVIRONMENTAL MONITORING SYSTEMS FOR AIR AND WATER QUALITY MANAGEMENT <https://ajates-scholarly.com/index.php/ajates/article/view/2>
- 5 Ullo, S. L., Gallo, M., Palmieri, G., Amenta, P., Russo, M., Romano, G., Ferrucci, M., Ferrara, A., & De Angelis, M. (2018). Application of wireless sensor networks to environmental monitoring for sustainable mobility. 2018 IEEE International Conference on Environmental Engineering (EE), NA(NA), 1-7. <https://doi.org/10.1109/ee1.2018.8385263>
- 6 Saha, A., Saha, J., Ray, R., Sircar, S., Dutta, S., Chattopadhyay, S. P., & Saha, H. N. (2018). CCWC - IOT-based drone for improvement of crop quality in agricultural field. 2018 IEEE 8th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC), NA(NA), 612-615. <https://doi.org/10.1109/ccwc.2018.8301662>
- 7 Budiarti, R. P. N., Sukaridhoto, S., Hariadi, M., & Purnomo, M. H. (2019). Big Data Technologies using SVM (Case Study: Surface Water Classification on Regional Water Utility Company in Surabaya). 2019 International Conference on

Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE), NA(NA), 94-101. <https://doi.org/10.1109/icomitee.2019.8920823>

8 Sarkar, M., Rashid, M. H. O., Hoque, M. R., & Mahmud, M. R. (2025). Explainable AI In E-Commerce: Enhancing Trust And Transparency In AI-Driven Decisions. *Innovatech Engineering Journal*, 2(01), 12-39. <https://doi.org/10.70937/itej.v2i01.53>

9 Faisal, N. A. (2023). Do Banks Price Discriminate Based on Depositors' Location? Available at SSRN 5038968.

10 Al-Arafat, M., Kabir, M. E., Morshed, A. S. M., & Islam, M. M. (2025). Artificial Intelligence in Project Management: Balancing Automation and Human Judgment. *Frontiers in Applied Engineering and Technology*, 2(01), 18-29. <https://doi.org/10.70937/faet.v1i02.47>

11 Nahid, O. F., Rahmatullah, R., Al-Arafat, M., Kabir, M. E., & Dasgupta, A. (2024). Risk Mitigation Strategies In Large Scale Infrastructure Project: A Project Management Perspective. *Journal of Science and Engineering Research*, 1(01), 21-37. <https://doi.org/10.70008/jeser.v1i01.38>

12 Rosero-Montalvo, P. D., Caraguay-Procel, J. A., Jaramillo, E. D., Michilena-Calderon, J. M., Umaquina-Criollo, A. C., Mediavilla-Valverde, M., Ruiz, M. A., Beltran, L. A., & Peluffo, D. H. (2018). Air Quality Monitoring Intelligent System Using Machine Learning Techniques. 2018 International Conference on Information Systems and Computer Science (INCISCOS), NA(NA), 75-80. <https://doi.org/10.1109/inciscos.2018.00019>

13 Ullo, S. L., Addabbo, P., Di Martire, D., Sica, S., Fiscante, N., Cicala, L., & Angelino, C. V. (2019). Application of DInSAR. Technique to High Coherence Sentinel-1 Images for Dam Monitoring and Result Validation Through In Situ Measurements. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(3), 875-890. <https://doi.org/10.1109/jstars.2019.2896989>

14 Corbellini, S., Di Francia, E., Grassini, S., Iannucci, L., Lombardo, L., & Parvis, M. (2018). Cloud based sensor network for environmental monitoring.

- Measurement, 118(NA), 354-361.  
<https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.09.049>
- 15 Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2020). Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 20(11), 3113. <https://doi.org/10.3390/s20113113>
- 16 Ameer, S., Shah, M. A., Khan, A., Song, H., Maple, C., Islam, S., & Asghar, M. N. (2019). Comparative Analysis of Machine Learning Techniques for Predicting Air Quality in Smart Cities. *IEEE Access*, 7(NA), 128325-128338. <https://doi.org/10.1109/access.2019.2925082>
- 17 Okafor, N. U., & Delaney, D. (2019). Considerations for system design in IoT-based autonomous ecological sensing. *Procedia Computer Science*, 155(NA), 258-267. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.037>
- 18 Santos, D., Mataloto, B., & Ferreira, J. (2019). Data Center Environment Monitoring System. *Proceedings of the 2019 4th International Conference on Cloud Computing and Internet of Things*, NA(NA), 75-81. <https://doi.org/10.1145/3361821.3361824>
- 19 Blythe, J. M., & Johnson, S. D. (2018). The Consumer Security Index for IoT: A protocol for developing an index to improve consumer decision making and to incentivize greater security provision in IoT devices. *Living in the Internet of Things: Cybersecurity of the IoT - 2018*, NA(NA), 1-7. <https://doi.org/10.1049/cp.2018.0004>
- 20 Imen, S., Chang, N.-B., Yang, Y. J., & Golchubian, A. (2018). Developing a Model-Based Drinking Water Decision Support System Featuring Remote Sensing and Fast Learning Techniques. *IEEE systems journal*, 12(2), 1358-1368. <https://doi.org/10.1109/jsyst.2016.2538082>
- 21 Silva, H. A. N., & Panella, M. (2018). Eutrophication Analysis of Water Reservoirs by Remote Sensing and Neural Networks. 2018 Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS-Toyama), NA(NA), 458-463. <https://doi.org/10.23919/piers.2018.8597731>
- 22 Duisebekova, K. S., Sarsenova, Z. N., Pyagay, V. T., Tuyakova, Z. N., Duzbayev, N. T., Aitmagambetov, A. Z., & Amanzholova, S. T. (2019).

Environmental monitoring system for analysis of climatic and ecological changes using LoRa technology. Proceedings of the 5th International Conference on Engineering and MIS, NA(NA), 15-16. <https://doi.org/10.1145/3330431.3330446>

23 Mazare, A. G., Lonescu, L. M., Lita, L., Visan, D. A., Belu, N., & Gherghe, M. (2018). Intelligent monitoring and planning system for herbicidal processes in agricultural crops. 2018 IEEE 24th International Symposium for Design and Technology in Electronic Packaging (SIITME), NA(NA), 169-172. <https://doi.org/10.1109/siitme.2018.8599213>

24 Kazemi, N., Abdolrazzaghi, M., Musilek, P., & Daneshmand, M. (2020). A Temperature-Compensated High-Resolution Microwave Sensor Using Artificial Neural Network. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 30(9), 919-922. <https://doi.org/10.1109/lmwc.2020.3012388>

25 Liu, L., Wang, R., Xie, C., Yang, P., Sudirman, S., Wang, F., & Li, R. (2019). INDIN - Deep Learning based Automatic. Approach using Hybrid Global and Local Activated Features towards Large-scale Multi-class Pest Monitoring. 2019 IEEE 17th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 1(NA), 1507-1510. <https://doi.org/10.1109/indin41052.2019.8972026>

26 Wiryasaputra, R., Huang, C.-Y., Lin, Y.-J., & Yang, C.-T. (2024). An IoT Real-Time Potable Water Quality Monitoring and Prediction Model Based on Cloud Computing Architecture. Sensors, 24(4).

27 Ragi, N. M., Holla, R., & Manju, G. (2019). Predicting Water Quality Parameters Using Machine Learning. 2019 4th International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT), NA(NA), 1109-1112. <https://doi.org/10.1109/rteict46194.2019.9016825>

28 Mukherji, S. V., Sinha, R., Basak, S., & Kar, S. P. (2019). Smart Agriculture using Internet of Things and MQTT Protocol. 2019 International Conference on Machine Learning, Big Data, Cloud and Parallel Computing (COMITCon), NA(NA), NANA. <https://doi.org/10.1109/comitcon.2019.8862233>

29 Fuentes, H., & Mauricio, D. (2020). Smart water consumption measurement system for houses using IoT and cloud computing. Environmental

monitoring and assessment, 192(9), 602-602. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08535-4>

30 Shafi, U., Mumtaz, R., Anwar, H., Qamar, A. M., & Khurshid, H. (2018). Surface Water Pollution Detection using Internet of Things. 2018 15th International Conference on Smart Cities: Improving Quality of Life Using ICT & IoT (HONET-ICT), NA(NA), 92-96. <https://doi.org/10.1109/honet.2018.8551341>

31 M, S. A., & Nagaveni, V. (2019). Survey on Smart Agriculture Using IOT. NA, NA(NA), NA-NA. <https://doi.org/NA>

32 Demetillo, A. T., Japitana, M. V., & Taboada, E. B. (2019). A system for monitoring water quality in a large aquatic area using wireless sensor network technology. Sustainable Environment Research, 29(1), 1-9. <https://doi.org/10.1186/s42834-019-0009-4>

33 Amado, T. M., & Dela Cruz, J. C. (2018). TENCON - Development of Machine Learning-based Predictive Models for Air Quality Monitoring and Characterization. TENCON 2018 - 2018 IEEE Region 10 Conference, NA(NA), 668-672. <https://doi.org/10.1109/tencon.2018.8650518>

34 Mshali, H., Lemlouma, T., Moloney, M., & Magoni, D. (2018). A survey on health monitoring systems for health smart homes. International Journal of Industrial Ergonomics, 66(NA), 26-56. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.02.002>

35 Arora, J., Pandya, U., Shah, S., & Doshi, N. (2019). Survey- Pollution Monitoring using IoT. Procedia Computer Science, 155(NA), 710-715. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.102>

36 Alzahrani, A. I. A., Chauhdary, S. H., & Alshdadi, A. A. (2023). Internet of Things (IoT)-Based Wastewater Management in Smart Cities. Electronics, 12(12), 2590-2590. <https://doi.org/10.3390/electronics12122590>

37 Islam, A., Khan, R. H., & Syeed, M. M. M. (2020). ICCA - A Smart and Integrated Surface Water Monitor System Architecture: Bangladesh Perspective. Proceedings of the International Conference on Computing Advancements, NA(NA), 1-6. <https://doi.org/10.1145/3377049.3377103>

38 Mihăiță, A. S., Dupont, L., Chery, O., Camargo, M., & Cai, C. (2019). Evaluating air quality by combining stationary, smart mobile pollution monitoring and data-driven modelling. *Journal of Cleaner Production*, 221(NA), 398-418. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.179>

39 Srikamdee, S., & Onpans, J. (2019). Forecasting Daily Air Quality in Northern Thailand Using Machine Learning Techniques. 2019 4th International Conference on Information Technology (InCIT), NA(NA), 259-263. <https://doi.org/10.1109/incit.2019.8912072>

40 Fang, J., Hu, J., Wei, J., Liu, T., & Wang, B. (2020). An Efficient Resource Allocation Strategy for Edge-Computing Based Environmental Monitoring System. *Sensors*, 20(21).

41 Lachtar, A., Val, T., & Kachouri, A. (2020). Elderly monitoring system in a smart city environment using LoRa and MQTT. *IET Wireless Sensor Systems*, 10(2), 70-77. <https://doi.org/10.1049/iet-wss.2019.0121>

42 Capella, J. V., Bonastre, A., Ors, R., & Peris, M. (2019). A New Application of Internet of Things and Cloud Services in Analytical Chemistry: Determination of Bicarbonate in Water. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(24), 5528-NA. <https://doi.org/10.3390/s19245528>

43 Ghanshala, K. K., Chauhan, R., & Joshi, R. C. (2018). A Novel Framework for Smart Crop Monitoring Using Internet of Things (IOT). 2018 First International Conference on Secure Cyber Computing and Communication (ICSCCC), NA(NA), 62-67. <https://doi.org/10.1109/icsecc.2018.8703366>

44 Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Davidson, A., & Robertson, L. D. (2019). IGARSS - Comparison of Machine Learning Algorithms and Water Cloud Model for Leaf Area Index Estimation Over Corn Fields. IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, NA(NA), 6267-6270. <https://doi.org/10.1109/igarss.2019.8900445>

45 Mayer, M., & Baeumner, A. J. (2019). A Megatrend Challenging Analytical Chemistry: Biosensor and Chemosensor Concepts Ready for the

Internet of Things. Chemical reviews, 119(13), 7996-8027.

<https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00719>

46 Garrido-Momparler, V., & Peris, M. (2022). Smart sensors in environmental/water quality monitoring using IoT and cloud services. Trends in Environmental Analytical Chemistry, 35, e00173-e00173. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2022.e00173>

47 Pasika, S., & Gandla, S. T. (2020). Smart water quality monitoring system with cost-effective using IoT. Heliyon, 6(7), e04096-NA. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04096>

48 Zhovnir Y. I., Hrybovskiy O. M., Orlov M. V., Duda O. M., Kunanets N. E. IoT information systems methodology // Управління розвитком складних систем. 2024. Vol. 60. P. 56–71. DOI: 10.32347/2412-9933.2024.60.56-70

49 Duda O., Matsiuk O., Kunanets N., Pasichnyk V., Rzheuskiy A., Bilak Y. Formation of hypercubes based on data obtained from IoT devices // International Journal of Sensors, Wireless Communications and Control. 2021. Vol. 11(5). P. 498–504

50 Duda O., Stanko A. Architecture of monitoring platform in smart cities // Вісник ХНУ. 2023. No. 4. P. 10–19

51 Orlov M. V., Hrybovskiy O. M., Zhovnir Y. I., Duda O. M. DevOps methodology in IoT ecosystems // Вчені записки ТНУ. 2024. Vol. 35(6). P. 163–170

52 Orlov M. V., Duda O. M., Zhovnir Y. I., Hrybovskiy O. M. DevOps tools in IoT systems // Комп'ютерно-інтегровані технології. 2024. Vol. 57. P. 128–138. DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2024-57-15

53 Luchkevych M., Shakleina I., Duda O. The impact of modern cloud technologies on the efficiency of DevOps processes // Scientific Journal TNTU. 2025. No. 1(117). P. 112–122. DOI: 10.33108/visnyk\_tntu2025.01

54 Duda O., Shakleina I., Luchkevych M. AI and ML in DevOps efficiency // Herald of Khmelnytskyi National University. 2025. Vol. 351(3.1). P. 143–149. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-351-17

55 Duda O., Zakharia O., Kramar T., Melnyk A., Skaletskyi P. Data mesh smart city architecture // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2025. Vol. 17. P. 411–424. DOI: 10.23939/sisn2025.17.411

56 Duda O., Kunanets N., Martsenko S., Nykytyuk V., Pasichnyk V. Information technology platform for COVID-19 analysis // IEEE CSIT 2021. P. 231–238. DOI: 10.1109/CSIT52700.2021.9648839

57 Duda O., Pasichnyk V., Lypak H., Veretennikova N., Kunanets N., Matsiuk O., Mudrokha V. Integrated repositories of social and communication data // CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 2870. P. 1420–1430.

58 Zhovnir Y., Kunanets N., Burov Y., Duda O., Pasichnyk V. Situation-aware security systems design // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2025. Vol. 1/9(133). P. 6–23. DOI: 10.15587/1729-4061.2025.315248

59 Barabakh R. T., Duda O. M., Duda H. O., Kunanets N. E., Mashika H. V., Pasichnyk S. O. Tourism internet portals design // Науковий вісник НЛТУ України. 2024. Vol. 34(1). P. 67–77. DOI: 10.36930/403401

60 Pasichnyk S., Maga A., Kunanets N., Lozytskyi O., Petrushyna B., Duda O., Rybak A. Smart household interface design // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2024. No. 15. P. 273–289. DOI: 10.23939/sisn2024.15.273

61 Duda O., Dzhydzhora L., Matsiuk O., Stanko A., Kunanets N., Pasichnyk V. Mobile information system for virus monitoring // SISN. 2020. Vol. 8. P. 65–70. DOI: 10.23939/sisn2020.08.065

62 Vaskiv R. I., Hrybovskyi O. M., Kunanets N. E., Duda O. M. Information system of street lighting control in smart city // Radio Electronics, Computer Science, Control. 2024. No. 3(70). P. 212–223. DOI: 10.15588/1607-3274-2024-3-18

63 Duda O., Orlov M., Pavliv I. DevSecOps code analysis integration // Вісник НУ «Львівська політехніка». 2025. Vol. 18(1). P. 209–228. DOI: 10.23939/sisn2025.18.1.209

64 Duda O., Kunanets N., Matsiuk O., Pasichnyk V., Rzheuskyi A. Aggregation, Storing, Multidimensional Representation and Processing of COVID-19 Data // Advances in Intelligent Systems and Computing V. CSIT 2020. Springer,

Cham, 2021. Vol. 1293. DOI: 10.1007/978-3-030-63270-0\_60. ISSN 2194-5357, EISSN 2194-5365

65 Capella, J. V., Bonastre, A., Campelo, J. C., Ors, R., & Peris, M. (2020). IoT & environmental analytical chemistry: Towards a profitable symbiosis. Trends in Environmental Analytical Chemistry, 27(NA), e00095-NA. <https://doi.org/10.1016/j.teac.2020.e00095>

66 Sharma, P., & Prakash, S. (2021). Real Time Weather Monitoring System Using Iot. ITM Web of Conferences, 40(NA), 01006-NA. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20214001006>

67 Желібо Є.П., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності. Підручник. – К.: Каравела, 2009.

68 Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. – Львів: Афіша, 2000. 350 с

# ДОДАТКИ

Тези наукової конференції

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ

«ІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ,  
СИСТЕМИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»



17-18 грудня 2025 року

ТЕРНОПІЛЬ  
2025

<b>В. Кокайло</b> АНАЛІЗ МЕТААСАМБЛЕВИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ КЛАСИФІКАЦІЇ МЕДИЧНИХ ДІАГНОЗІВ <b>V. Kokailo</b> ANALYSIS OF META-ENSEMBLE ALGORITHMS FOR MEDICAL DIAGNOSIS CLASSIFICATION	202
<b>Е. Приймачук</b> ЦИФРОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ (SMART GRID) ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ (SCADA, ADMS) <b>E. Prymachuk</b> DIGITAL ELECTRICITY GRIDS (SMART GRID) AND INTELLIGENT CONTROL SYSTEMS (SCADA, ADMS)	203
<b>Н. Луцик, В. Антонюк, А. Паламар</b> СТРУКТУРА ІОТ-СИСТЕМИ ДЛЯ МОНИТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕНЬ <b>N. Lutsyk, V. Antoniuk, A. Palamar</b> STRUCTURE OF AN IOT SYSTEM FOR MONITORING THE PARAMETERS OF ELECTRICAL NETWORKS IN RESIDENTIAL PREMISES	204
<b>М. Боднар, Г. Вовнянка, В. Дуда</b> ПЕРЕДОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ У РОЗУМНИХ МІСТАХ <b>M. Bodnar, H. Vovnianka, V. Duda</b> ADVANCED DATA PROCESSING TECHNOLOGIES IN SMART CITIES	205
<b>І. Вітів, А. Кривецький, М. Боднар</b> БАГАТОВИМІРНЕ АНАЛІТИЧНЕ ОПРАЦЮВАННЯ ВЕЛИКИХ ДАНИХ <b>I. Vitiv, A. Kryvetskyi, M. Bodnar</b> BIG DATA MULTIDIMENSIONAL ANALYTICAL PROCESSING	206
<b>Г. Вовнянка, Д. Ониськів, А. Кривецький</b> ПЕРСПЕКТИВИ АНАЛІТИЧНОГО ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ РОЗУМНИХ МІСТ <b>H. Vovnianka, D. Onyskiv, A. Kryvetskyi</b> PROSPECTS OF ANALYTICAL PROCESSING OF SMART CITIES DATA	207
<b>О. Котлінський, І. Вітів, С. Довгалоук</b> РОЗУМНІ МІСТА – КОНЦЕПТИ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ <b>O. Kotlinskyi, I. Vitiv, S. Dovhaliuk</b> SMART CITIES – CONCEPTS AND RESEARCH DIRECTIONS	208
<b>В. Лабчук, Р. Захарченко</b> ДЕЗІНФОРМАЦІЯ ВОРОЖИХ СИЛ ЗАСОБАМИ SMALL DATA <b>V. Labchuk, R. Zakharchenko</b> DISINFORMATION OF ENEMY FORCES WITH THE HELP OF SMALL DATA	209
<b>А. Микитишин, С. Гавриць, О. Колеснік</b> РОЗПОДІЛЕНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ВЕРСТАТІВ З ЧИСЛОВИМ ПРОГРАМНИМ КЕРУВАННЯМ <b>A. Mikitishin, S. Havrys, O. Kolesnik</b> DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR CNC MACHINES	211
<b>Р. Михайлишин, М. Приймак</b> КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА ІОТ-СИСТЕМА КОНТРОЛЮ КІЛЬКОСТІ ЛЮДЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ХМАРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ <b>R. Mykhailyshyn, M. Pryimak</b> COMPUTERIZED IOT SYSTEM FOR MONITORING THE NUMBER OF PEOPLE USING CLOUD TECHNOLOGIES	212
<b>Д. Ониськів, С. Довгалоук, О. Котлінський</b> СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОВКІЛЛЯ <b>D. Onyskiv, S. Dovhaliuk, O. Kotlinskyi</b> ENVIRONMENTAL INDICATORS MONITORING SYSTEMS	213

УДК 004.03

О. Котлінський; І. Вітів; С. Довгалиук

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## РОЗУМНІ МІСТА – КОНЦЕПТИ ТА НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ

UDC 004.03

O. Kotlinskyi; I. Vitiv; S. Dovhaliuk

## SMART CITIES – CONCEPTS AND RESEARCH DIRECTIONS

Концепція «розумного міста» вперше виникла зосереджується на використанні інформаційних та комунікаційних технологій для покращення інфраструктури та модернізації ресурсних мереж. Широке впровадження інформаційних технологій дало містам можливість покращити безпеку, процеси управління та надання послуг. Не існує загальноприйнятого визначення «розумного міста» [1]. Натомість в науковій літературі існує обширний перелік визначень. Окремі визначення зосереджуються на використанні інформаційних та комунікаційних технологій і сучасної інфраструктури, інші підкреслюють людські ресурси та якість життя. Через відсутність єдиного комплексного визначення, термін «розумне місто» нерідко використовується для опису широкого спектру аспектів розвитку, зокрема інформаційних та комунікаційних технологій, освіти та загальної сталості розвитку міст. «Розумне місто» демонструє перспективи підвищення ефективності у шести ключових сферах:

- економіка;
- люди;
- управління;
- мобільність;
- навколишнє середовище;
- життя.

Воно розвивається завдяки стратегічному поєднанню ресурсів та дій, керованих проактивними, незалежними та поінформованими громадянами. «Розумні міста» пропонують значні економічні переваги, зокрема сприяння інноваціям, заохочення підприємництва, створення нових робочих місць та покращення конкурентної позиції міст. Вони також знижують витрати, одночасно підвищуючи ефективність комунальних послуг, виступаючи каталізатором економічного зростання. Стимулюючи швидкий розвиток, «розумні міста» сприяють зростанню ВВП, підвищують рівень зайнятості та залучають іноземні інвестиції – ключові фактори у відродженні міської економіки.

Інформаційно-технологічні проекти класу «розумне місто» сприяють покращенню стандартів життя, підвищенню конкурентоспроможності міст та подоланню перешкод, як от бідність, соціальна ізоляція чи екологічні проблеми. У сучасних наукових дослідженнях «розумне місто» розглядають з різних точок зору, які охоплюють цифровізацію, мешканців, міську владу, установи та організації, бізнес тощо [2].

УДК 004.03

Д. Ониськів; С. Довгалиук; О. Котлінський

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

## СИСТЕМИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОВКІЛЛЯ

UDC 004.03

D. Onyskiv; S. Dovhaliuk; O. Kotlinskyi

## ENVIRONMENTAL INDICATORS MONITORING SYSTEMS

Забруднення навколишнього середовища стало значною проблемою, що впливає на екосистеми, здоров'я людини та загальну стійкість. Забруднення повітря та води, зокрема, спричиняє респіраторні захворювання, серцево-судинні захворювання та хворобами, що передаються через воду – що робить високоефективні системи спостереження показників навколишнього середовища критично важливими [1]. Традиційні підходи до спостереження навколишнього середовища використовують ручний відбір проб та лабораторний аналіз, що є доволі трудомісткими та часто не забезпечують аналітичного опрацювання даних в режимі реального часу. Відповідно до цих потреб з'явилися інтелектуальні системи спостереження параметрів навколишнього середовища – це високотехнологічне рішення, що інтегрує датчі, засоби аналітичного опрацювання даних та автоматизації процесів для постійного відстеження рівня забруднення довкілля. Для підвищення ефективності процесів управління навколишнім середовищем інтелектуальні системи спостереження параметрів навколишнього середовища використовують:

- Інтернет речей (IoT).
- Штучний інтелект (AI).
- Аналітичне опрацювання великих за обсягом наборів та колекцій даних.

Впровадження інтелектуальних систем спостереження параметрів навколишнього середовища привертає значну увагу в академічних та виробничих колах впродовж останніх років завдяки їхній здатності надавати просторові та часові дані високої роздільної здатності для спостереження та регулювання показників якості повітря та води. Спостереження та регулювання показників якості повітря за допомогою інтелектуальних технологій стає важливим для оцінки концентрації забруднювачів, як от:

- тверді частинки – PM<sub>2.5</sub> та PM<sub>10</sub>;
- оксиди азоту – NO<sub>x</sub>;
- діоксид сірки – SO<sub>2</sub>;
- леткі органічні сполуки.

Системи спостереження параметрів повітря на основі Інтернету речей використовують недорогі бездротові сенсорні мережі для збору та передачі даних у режимі реального часу та зберігають дані на хмарні платформи [2], що дає змогу органам влади своєчасно вживати заходів. Моделі на базі штучного інтелекту, включаючи алгоритми машинного навчання, сприяють прогнозній аналітиці для прогнозування тенденцій забруднення на основі історичних даних