

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ІПЗ

Група ІСТ-22-1

Касьяненко Остап

2026

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Касьяненко Остап Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004.89:004.65

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів
(назва роботи)

Інформаційні системи та технології

(назва освітньої програми)

126 – Інформаційні системи та технології

(шифр і назва спеціальності)

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

Здобувач освітнього ступеня _____ Касьяненко О.В.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Заміховський Л.М.
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
В.о завідувача кафедри

доц. _____ Заміховська О.Л.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет інформаційних технологій

Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій та систем

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 126 – Інформаційні системи та технології

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о завідувача кафедри ІТТС

Заміховська О.Л.

“ ” 2026 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТОВІ

Касьяненко Остап Володимирович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи "Розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів "

керівник роботи Заміховський Л.М. проф. каф. ІТТС

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 07” квітня 2026 р. № 163/7

2. Строк подання студентом проекту (роботи) “ 07 ” червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) географічні та просторові дані, абонентські характеристики, технічні обмеження і вимоги, програмні засоби, мережі доступу загального користування.

4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки(перелік питань, які потрібно розробити)
Загальні теоретичні відомості про моніторинг забруднення водних об'єктів та основи функціонування гідрологічних систем і сенсорних мереж

Теоретичні передумови розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів із використанням сучасних методів збору, передачі та обробки екологічних даних

Розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів на основі сенсорних мереж та засобів обробки даних у реальному часі

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): “Мета роботи”, “Актуальність теми”, “Завдання роботи”, “Архітектура інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів”, “Топології сенсорних мереж”, “Принципова схема маршрутів циркуляції даних”, “Схема логіки обробки MQTT-повідомлень на сервері”, “Модель потокової обробки та передачі даних між вузлами”, “Інтерфейс адміністратора системи”, “Конвертація MQTT-повідомлень у формат Thingspeak”, “Результати тестування системи”, “Висновки”.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Заміховський Л.М., професор		
2	Заміховський Л.М., професор		
3	Заміховський Л.М., професор		

7. Дата видачі завдання 10 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Визначення та обґрунтування теми роботи	17.03.2026	виконано
2	Огляд існуючих концепцій, рішень та сервісів в даній області	21.04.2026	виконано
3	Побудова моделі або алгоритму власного рішення	01.05.2026	виконано
4	Документування реалізації власного оригінального рішення вибраними засобами	21.05.2026	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки бакалаврської роботи	02.06.2026	виконано

Студент _____ Касьяненко О.В.
(підпис)

Керівник роботи _____ Заміховський Л.М.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота присвячена розробленню інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів із використанням сучасних сенсорних мереж, засобів передачі даних та хмарних технологій. Актуальність теми зумовлена необхідністю забезпечення оперативного контролю якості поверхневих вод, своєчасного виявлення джерел забруднення та підвищення ефективності екологічного моніторингу.

У роботі проведено аналіз теоретичних основ моніторингу водних ресурсів, досліджено сучасні підходи до побудови сенсорних мереж та інформаційних систем екологічного призначення. Розглянуто архітектури сенсорних мереж, методи збору, передачі та обробки даних, а також особливості застосування протоколу MQTT для організації інформаційного обміну між компонентами системи.

Практична частина роботи присвячена проектуванню та реалізації інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів. Розроблена система забезпечує автоматизований збір показників стану водного середовища, їх передавання до серверної частини, обробку, зберігання та візуалізацію результатів у режимі реального часу. Проведено оцінювання ефективності функціонування системи та визначено перспективи її подальшого розвитку.

Результати роботи можуть бути використані екологічними службами, підприємствами водного господарства, науковими установами та органами державного контролю для здійснення постійного моніторингу стану водних ресурсів і підтримки прийняття управлінських рішень у сфері охорони довкілля.

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота: 78 сторінки, 16 рисунки, 13 таблиці, 40 посилання на джерела.

У бакалаврській роботі запропоновано розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів із використанням сучасних сенсорних мереж та інформаційних технологій.

Розроблення такої інформаційної системи дозволяє автоматизувати процес збору, обробки та аналізу даних про стан поверхневих вод, забезпечити оперативний контроль рівня забруднення та підвищити ефективність екологічного моніторингу. Система сприяє своєчасному виявленню небезпечних змін у водному середовищі, зменшенню ризиків екологічних загроз та покращенню управління водними ресурсами.

У роботі розглянуто теоретичні основи моніторингу водних об'єктів, сучасний стан розвитку сенсорних мереж та методи побудови інформаційних систем екологічного призначення. Проведено аналіз структури інформаційних потоків у сенсорних мережах та досліджено підходи до реалізації систем моніторингу поверхневих вод.

Практична частина роботи присвячена вибору платформи та інструментів розробки, побудові системи моніторингу поверхневих вод, а також оцінці ефективності впровадження інформаційної системи та перспектив її подальшого розвитку.

Ключові слова: ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, МОНІТОРИНГ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ, СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ, ЗАБРУДНЕННЯ ВОДИ, ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ, ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ХМАРНІ ТЕХНОЛОГІЇ.

ABSTRACT

Bachelor's Thesis: 78 pages, 16 figures, 13 tables, 40 references.

This bachelor's thesis proposes the development of an information system for monitoring pollution of water bodies using modern sensor networks and information technologies.

The development of such an information system enables automation of the collection, processing, and analysis of surface water condition data, provides оперативний control of pollution levels, and improves the efficiency of environmental monitoring. The system contributes to the timely detection of dangerous changes in the aquatic environment, reduction of environmental risks, and improvement of water resource management.

The thesis examines the theoretical foundations of water body monitoring, the current state of sensor network development, and methods for building environmental information systems. The structure of information flows in sensor networks and approaches to implementing surface water monitoring systems are analyzed.

The practical part of the work focuses on selecting development platforms and tools, building a surface water monitoring system, and evaluating the effectiveness of the implemented information system and its future development prospects.

Keywords: INFORMATION SYSTEM, WATER BODY MONITORING, SENSOR NETWORKS, WATER POLLUTION, ENVIRONMENTAL MONITORING, SURFACE WATERS, AUTOMATION, CLOUD TECHNOLOGIES.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	15
1.1 Гідрологія, кругообіг води та основні джерела забруднення водних об'єктів.....	15
1.2 Огляд сучасного рівня розвитку сенсорних мереж для моніторингу водних ресурсів.....	18
1.3 Процеси розроблення інформаційних систем як засіб підвищення ефективності, безпеки та надійності моніторингу водних об'єктів.....	31
2. МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	38
2.1 Розробка мережі моніторингу водних об'єктів.....	38
2.2 Мережі моніторингу поверхневих вод.....	41
2.3 Структура інформаційних потоків у сенсорній мережі.....	43
3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	47
3.1 Вибір платформи та інструментів розробки.....	47
3.2 Система моніторингу поверхневих вод.....	50
3.3 Оцінка ефективності впровадження системи та перспективи її розвитку.....	66
ВИСНОВКИ.....	79
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
ДОДАТОК А.....	84
ДОДАТОК Б.....	85

					КРБ.ІСТ– 10.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Касьяненко О.В.			Розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів	Літ.	Арк.
Перевір.		Заміховський Л.М.				7	88
Н. Контр.		Возний А.В				ІФНТУНГ ІСТ-22-1	
Затверд.		Заміховська О.Л.					

ВСТУП

Стрімкий розвиток інформаційних технологій, сенсорних мереж та систем автоматизованого збору даних створює нові можливості для моніторингу стану навколишнього середовища. Однією з найбільш актуальних екологічних проблем сучасності є забруднення водних об'єктів, що негативно впливає на екосистеми, здоров'я населення та якість природних ресурсів. Зростання промислового виробництва, урбанізація та збільшення антропогенного навантаження на водні ресурси потребують впровадження сучасних інформаційних систем для контролю та аналізу стану поверхневих вод.

Сучасні виклики, пов'язані з необхідністю оперативного виявлення джерел забруднення, обробки великих обсягів екологічних даних та забезпечення безперервного контролю якості води, вимагають удосконалення підходів до побудови систем моніторингу водних об'єктів. Використання сенсорних мереж та інформаційних систем дозволяє автоматизувати процес збору, передачі та аналізу даних, що значно підвищує ефективність екологічного моніторингу та швидкість реагування на небезпечні зміни у водному середовищі.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів на основі сучасних інформаційних технологій та сенсорних мереж для забезпечення ефективного контролю стану поверхневих вод.

Основними завданнями бакалаврської роботи є:

- дослідження літературних джерел щодо сучасних методів моніторингу водних об'єктів та застосування інформаційних систем у сфері екологічного контролю;
- аналіз сучасного рівня розвитку сенсорних мереж та засобів збору екологічних даних;
- виклад теоретичних передумов для розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів;
- дослідження структури інформаційних потоків у сенсорних мережах;

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вибір платформи та інструментів розробки інформаційної системи;
- створення та презентація системи моніторингу поверхневих вод;

Об’єктом дослідження є процеси моніторингу стану водних об’єктів із використанням інформаційних систем та сенсорних мереж, що дозволяють автоматизувати збір та аналіз екологічних даних.

Предметом дослідження є методи, моделі та програмні засоби розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об’єктів, а також технології передачі, обробки та візуалізації даних.

Методи дослідження: під час виконання роботи використовувалися методи аналізу та обробки даних, моделювання інформаційних потоків, програмування, математичного аналізу та візуалізації результатів.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання розробленої інформаційної системи для автоматизації екологічного моніторингу, контролю рівня забруднення водних ресурсів та підвищення ефективності прийняття рішень у сфері охорони довкілля.

Розроблена система може застосовуватися екологічними службами, підприємствами водного господарства, науковими установами та органами державного контролю для здійснення постійного моніторингу поверхневих вод і своєчасного реагування на зміни екологічного стану водних об’єктів.

Оригінальність отриманої інформаційної системи полягає у:

- використанні сучасних сенсорних мереж та інформаційних технологій;
- автоматизації процесів збору та аналізу екологічних даних;
- можливості безперервного моніторингу стану поверхневих вод;
- забезпеченні швидкого доступу до результатів аналізу;
- інтуїтивно зрозумілому інтерфейсі та простоті використання;

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Гідрологія, кругообіг води та основні джерела забруднення водних об'єктів

Кругообіг води в атмосфері, або гідрологічний цикл, – це циркуляція води в атмосфері, суші, ґрунті, річковій мережі та океанах (Рисунок 1.1). Волога в атмосфері конденсується, потрапляючи на поверхню Землі у вигляді дощу, снігу та мокрого снігу або конденсуючись з туману, крапель та роси. Оподи, що потрапляють на поверхню конденсаційних ставків, стікають по суші або проникають у ґрунт. Частина накопиченої води та стоку випаровується, а проникла вода випаровується або транспірується рослинами назад в атмосферу (цей процес разом називається евапотранспірацією). Надлишок води потрапляє в річкові системи струмків, озер та річок (система поверхневих вод) або проникає через ненасичену зону ґрунтових вод у насичену зону ґрунтових вод (система ґрунтових вод). В обох системах вода рухається «вниз за течією» до океанів, при цьому дві системи обмінюються водою. Крім того, люди впливають на потік води до океанів шляхом відведення, будівництва гребель, перекачування, каналізації та споживання для задоволення потреб людини, таких як зрошення, побутове, комерційне, муніципальне, промислове використання, виробництво енергії та навігація. Несpojита та повторно spoжита людиною вода знову потрапляє в підземні та поверхневі водні системи під час свого руху. Вода, яка не втрачалася внаслідок випаровування, не зберігалася у водосховищах, льодовиках чи водоносних горизонтах, а також не spoживалася людьми, потрапляє в океан, де знову випаровується, постачаючи атмосферну вологу, яка зрештою випадає в осад або конденсується. Протягом усього процесу кількість та хімічний склад води змінюються. Наука, що вивчає виникнення, розподіл, рух та властивості води, а також її зв'язок з навколишнім середовищем, називається гідрологією.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

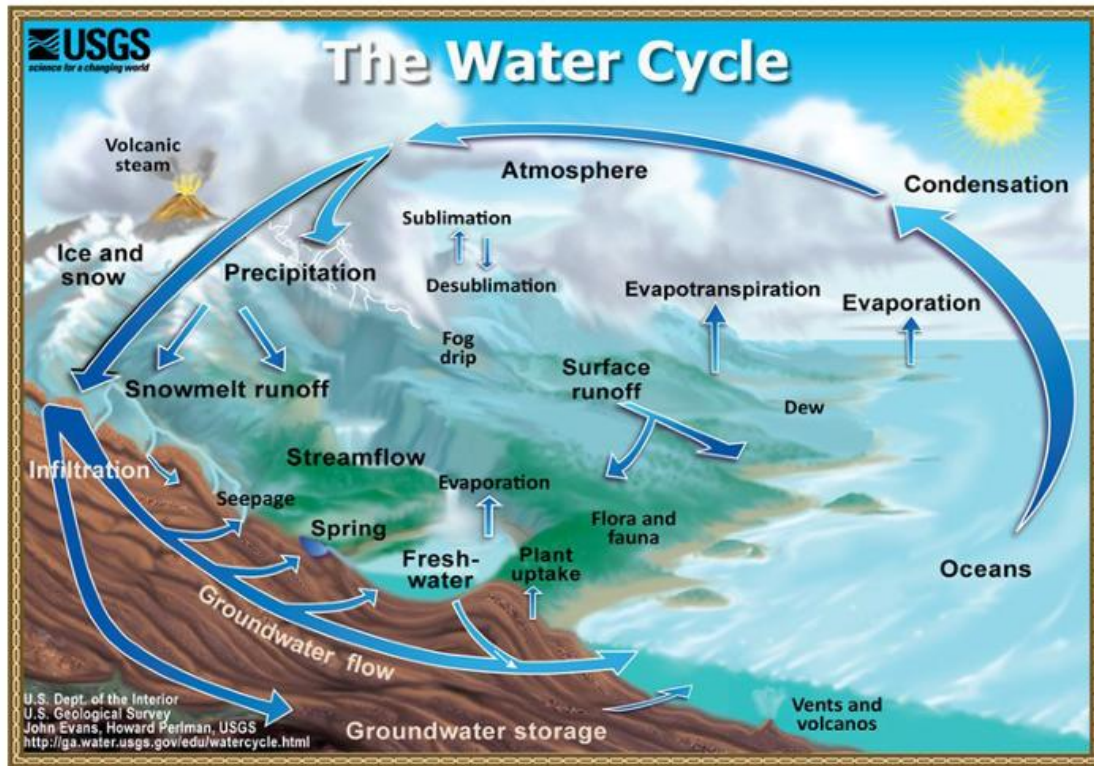


Рис. 1.1 - Графічне зображення кругообігу води [25]

Добробут людства залежить від води та екосистем, які вона підтримує. Постачання, терміни, зберігання та якість води у водозборі впливають на соціальні, економічні та екологічні системи, які впливають на життя людей. Керівники водних ресурсів стурбовані кількістю та якістю води під час її руху по кругообігу, а також тим, як можна реалізувати політику, проекти та інфраструктурні операції для покращення добробуту людей. Ключовим компонентом управління водними ресурсами є характеристика потоку, зберігання та якості води в басейні. Краще розуміння гідрологічного циклу басейну, а також використання води людиною та екосистемою значно покращує зусилля з планування; зменшує ризики та витрати на проектування та експлуатацію інфраструктури (наприклад, водосховищ); зменшує збитки, пов'язані з повеннями та посухою; та покращує політику управління водними ресурсами в басейні.

Фундаментальний метод розуміння гідрологічного циклу в басейні полягає в моніторингу кількості води та якості її руху в системах підземних і

поверхневих вод. Таким чином, ефективна система моніторингу є ключем до кращого управління водними ресурсами в басейні.

Гідрологічна інформаційна система (ГІС) – це система для вимірювання, обробки, зберігання та поширення взаємопов’язаних аспектів даних водозбору, включаючи кількість та якість клімату (гідрометеорологічних, наприклад, опадів, випаровування), поверхневих вод (гідрологічних) та підземних вод (гідрогеологічних). Елементи ГІС включають фізичну інфраструктуру та людські ресурси. Фізична інфраструктура включає мережі спостереження; лабораторії; системи передачі даних та зберігання даних; а також центри обробки, оснащені базами даних та інструментами для введення, перевірки, аналізу, пошуку та поширення даних. Людські ресурси – це добре навчений, відданий своїй справі персонал, який підтримує ГІС, з різноманітними навичками для спостереження, перевірки, обробки, аналізу та поширення даних. Неврахування будь-якого з елементів під час розробки системи моніторингу обмежить успіх впровадження ГІС. Цей звіт зосереджується на моніторингу поверхневих вод, підземних вод та якості води в окремих розділах.

Управління водозбором включає управління земельними, водними системами та прісноводними екосистемами для захисту та покращення якості та кількості води для підтримки екологічних, соціальних та економічних систем у межах водозбору. Особи, які приймають рішення у сфері водних ресурсів, стурбовані забезпеченням збереження та оптимізації цих переваг порівняно з іншими видами використання та з часом. Критичною потребою для належного управління водозбором є наявність комплексних даних, що характеризують гідрологічну систему, її основні компоненти та зв'язки. Гідрологічна інформація (HIS) є критично важливим компонентом управління водозбором та прийняття рішень, оскільки вона збирає та надає дані та інформацію, необхідні для прийняття обґрунтованих рішень, контролює вплив програм та інших дій, а також допомагає нам зрозуміти тенденції у водозборних та компонентних системах.

Надійна мережа HIS надає інформацію, яка надає керівникам водних ресурсів та зацікавленим сторонам засоби моніторингу, оцінки та аналізу

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гідрологічної системи, від якої залежать екологічні, соціальні та економічні системи. Дані HIS підтримують широкий спектр водних проєктів, від довгострокового планування до проєктування інфраструктури, операцій у реальному часі та досліджень. Включення просторових та часових даних у водні проєкти підвищує точність прогнозування, знижує ризик, забезпечує більшу економічну вигоду (тобто ефективніше проєктування, операції та використання води), зменшує потенціал для конфліктів та створює основу для кращих рішень. Безперервно зібрані польові вимірювання оцінюються або як є, або статистично перетворюються (наприклад, максимальні значення, мінімальні, частота виникнення, тенденції, сезонність), залежно від питання, що розглядається, та аналізу, що виконується.

1.2 Огляд сучасного рівня розвитку сенсорних мереж для моніторингу водних ресурсів

Сучасний рівень розвитку сенсорних мереж є результатом стрімкого прогресу у сфері вбудованих систем, безпроводових технологій та мікроелектроніки. Завдяки зменшенню розмірів елементів, підвищенню їх енергоефективності та здатності до самоорганізації, сенсорні мережі набули широкого застосування в інформаційних системах для моніторингу, управління та аналізу даних [1]. Сучасні вузли мережі оснащуються різноманітними датчиками, які дозволяють здійснювати вимірювання фізичних параметрів, а потім – передавати зібрану інформацію до центральних систем обробки. Таке інтегроване рішення дозволяє забезпечити оперативний доступ до інформації, що є критично важливим для прийняття рішень у реальному часі.

Значення сенсорних мереж проявляється у різних галузях. У сфері безпеки вони використовуються для раннього виявлення загроз, контролю за доступом та моніторингу критично важливих об'єктів. Для екологічного моніторингу сенсорні мережі дозволяють збирати дані про стан навколишнього середовища, наприклад, рівень забруднення повітря, температурні зміни та інші показники, що сприяють своєчасному реагуванню на екологічні кризи. У

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

військовій сфері застосування таких мереж забезпечує збір інформації про місцевість, контроль за рухом об'єктів та підвищення рівня оперативного зв'язку під час бойових дій. Крім того, сенсорні мережі активно використовуються в галузях моніторингу інфраструктури, транспорту та енергетики, що підвищує їх загальну актуальність [2].

Основні проблеми, які вирішуються шляхом застосування сенсорних мереж, стосуються кількох ключових напрямів. По-перше, сенсорні мережі дозволяють вирішувати задачу своєчасного збору та обробки даних із розподілених джерел, що сприяє оперативному реагуванню на зміни у середовищі. По-друге, завдяки своїй масштабованості вони забезпечують ефективне управління великими обсягами інформації, що важливо для систем моніторингу критичних інфраструктур. По-третє, впровадження систем на базі сенсорних мереж дозволяє мінімізувати витрати енергії завдяки оптимізації процесів збору та передачі даних, що є особливо актуальним для автономних вузлів, розташованих у віддалених регіонах [3].

Для більш глибокого розуміння принципів побудови системи управління сенсорною мережею на рисунку (Рисунок 1.2) представлено узагальнену архітектуру інформаційної взаємодії між її основними компонентами. Центральним елементом структури виступає кластер збору даних, який акумулює інформаційні потоки, що надходять від численних сенсорних вузлів, розміщених у середовищі спостереження. Зібрані дані передаються через комунікаційний шлюз, який виконує функцію маршрутизації, буферизації та забезпечення первинного захисту даних на мережевому рівні.

Наступним етапом є передача даних до веб-інтерфейсу (WWW) через внутрішню або зовнішню мережу (Інтранет/Інтернет), що дозволяє здійснювати централізований доступ до інформації з боку користувача. Користувач, у свою чергу, має змогу отримувати аналітичні результати, управляти параметрами сенсорної мережі або здійснювати дистанційне адміністрування системи в режимі реального часу.

Також передбачена можливість підключення локальних мереж користувачів, що дає змогу інтегрувати систему до більших інформаційно-

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керованих середовищ, наприклад, у рамках корпоративних або інституційних інфраструктур. Така архітектура забезпечує гнучкість, масштабованість, розподілену обробку даних та високий рівень автономності при збереженні централізованого управління.

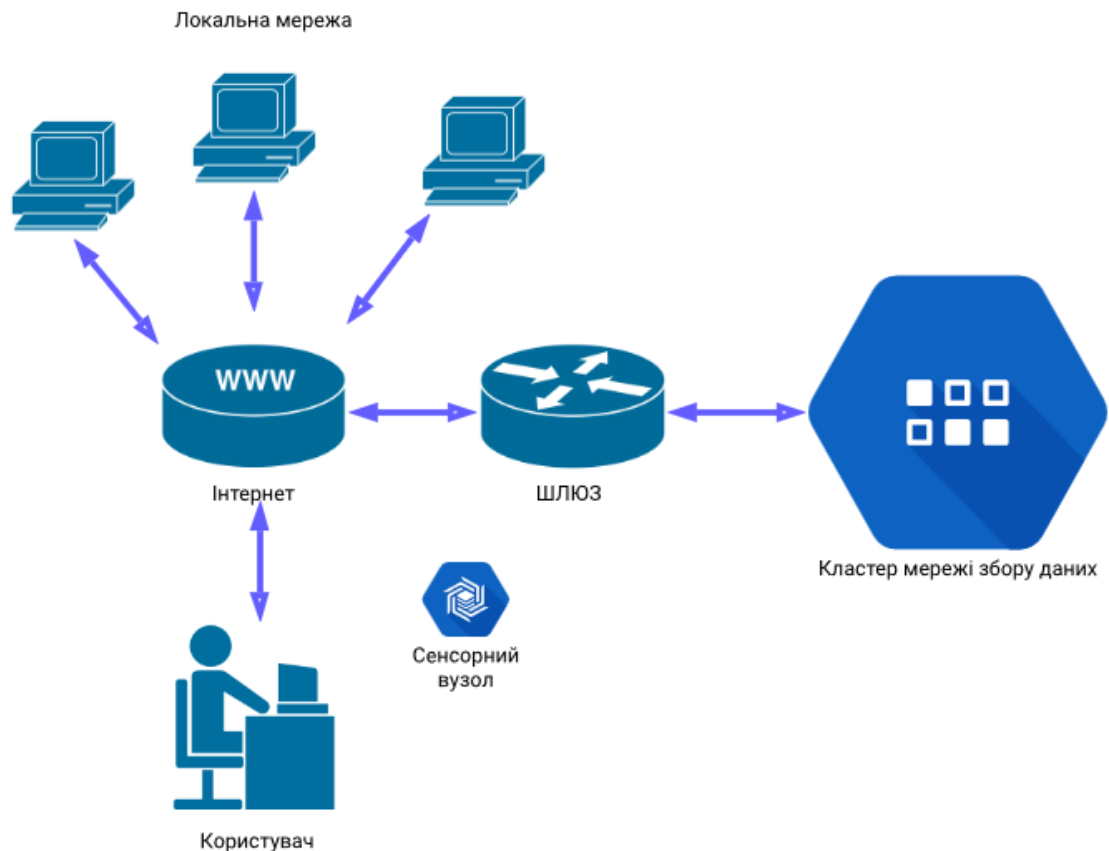


Рисунок 1.2 – Архітектура системи управління сенсорною мережею з інтеграцією в інформаційне середовище

Аналіз сучасного рівня розвитку сенсорних мереж демонструє їхню високотехнологічність, універсальність та широке застосування у вирішенні різноманітних завдань сучасних інформаційних систем. Вони дозволяють не лише підвищити якість моніторингу та управління, але й сприяють оптимізації ресурсів та підвищенню рівня безпеки в багатьох галузях. Посилання на сучасну літературу підтверджують актуальність розглядуваної проблематики та демонструють перспективність подальших досліджень у даній сфері [4].

Зростаюча складність соціотехнічних систем, високий рівень загроз і потреба в оперативному реагуванні на зміни навколишнього середовища зумовили активне використання сенсорних мереж у критично важливих галузях. Їх здатність здійснювати постійний моніторинг, виявляти аномалії та підтримувати прийняття рішень у режимі реального часу забезпечує практичну значущість у сфері безпеки, екологічного спостереження, громадської інфраструктури та оборонного сектора.

У сфері безпеки сенсорні мережі застосовуються для охорони периметрів, виявлення несанкціонованого проникнення, моніторингу руху об'єктів і захисту об'єктів критичної інфраструктури. Розміщення мережевих сенсорів у стратегічних зонах дозволяє здійснювати пасивний контроль за навколишнім простором без прямої присутності людини. Наприклад, у системах відеоспостереження мережеві камери із вбудованими сенсорами руху передають інформацію до аналітичних центрів для обробки і виявлення загроз. Як зазначено [5], сенсорні мережі забезпечують гнучку багаторівневу систему попередження, здатну адаптуватися до змін середовища.

У галузі екології такі мережі дозволяють здійснювати довготривалий дистанційний моніторинг параметрів навколишнього середовища, зокрема рівня забруднення повітря, температури, вологості, вмісту шкідливих речовин у воді. Особливо актуальним є використання автономних сенсорів для виявлення локальних джерел викидів або витоків небезпечних речовин, що дозволяє своєчасно запобігти екологічним катастрофам. Як вказано [6], сенсорні мережі забезпечують масштабовану платформу для створення «розумних екосистем» і є основою концепції сталого розвитку.

У сфері громадського та технічного моніторингу сенсорні мережі є основою систем управління міською інфраструктурою. Наприклад, датчики, вмонтовані в дорожнє покриття, контролюють інтенсивність руху, що дозволяє оптимізувати світлофорні цикли та зменшити затори. Аналогічно, в енергетичних системах сенсори фіксують споживання електроенергії в режимі реального часу, що дозволяє збалансувати навантаження та виявляти аварії. Такі

технології є складовими елементами концепції Smart City, яка передбачає цифрову трансформацію управління міськими системами [7].

У табл. 1.1. наведено порівняння ключових галузей застосування сенсорних мереж за основними параметрами ефективності.

Таблиця 1.1- Основні галузі застосування сенсорних мереж та їх функціональні характеристики

Галузь	Ціль використання	Тип даних	Режим роботи	Ключова перевага
Безпека	Захист територій, виявлення порушень	Рух, звук, вібрація	Реальний час	Рання діагностика загроз
Екологія	Моніторинг забруднення, аналіз стану атмосфери, води	Температура, CO ₂ , рН, вологість	Переважно періодичний	Просторове охоплення, автономність
Громадська інфраструктура	Контроль інфраструктури, Smart City	Рух транспорту, освітлення, аварії	Залежно від завдання	Ефективне управління міським простором
Військові системи	Розвідка, захист, моніторинг місцевості	Радіосигнали, звук, положення об'єктів	Безперервний	Мінімальна помітність, автономія

У військовій сфері сенсорні мережі використовуються для розвідки, контролю територій, моніторингу обстановки у бойових зонах. Завдяки своїй малій помітності та здатності до автономного функціонування вони можуть бути розгорнуті у важкодоступних районах і забезпечувати безперервне спостереження. Такі мережі інтегруються у системи управління військами, створюючи багат шарові інформаційно-аналітичні середовища. Як зазначено у [8], сенсорні системи дозволяють здійснювати оперативну ідентифікацію об'єктів, виявлення ворожої активності та оцінку загроз із мінімальними часовими затримками.

Отже, сенсорні мережі є критично важливою інфраструктурною технологією, що формує базис для розвитку безпечного, сталого й ефективного цифрового середовища в умовах сучасних викликів. Їх багатогалузеве застосування свідчить про високу гнучкість, адаптивність і стратегічну значущість в інформаційно-керованому суспільстві.

Сучасні інформаційні системи стикаються з низкою складних викликів, пов'язаних із необхідністю безперервного збору, обробки й передачі великої кількості даних у розподілених середовищах. Традиційні централізовані рішення виявляються недостатньо ефективними через обмеження щодо швидкості реагування, високі енергетичні витрати, складність масштабування та низьку стійкість до збоїв. У цьому контексті сенсорні мережі демонструють значну ефективність у вирішенні ряду критичних проблем.

Однією з найважливіших задач, що вирішується завдяки сенсорним мережам, є оперативний збір інформації в реальному часі. Завдяки розподіленому розміщенню вузлів, мережа забезпечує високу щільність спостереження, дозволяючи відслідковувати параметри середовища з мінімальними затримками. Як зазначено [9], це особливо актуально для ситуацій, де важлива кожна секунда – наприклад, у військових умовах або при надзвичайних ситуаціях природного та техногенного характеру.

Другою суттєвою проблемою, яка ефективно вирішується, є моніторинг у складнодоступних або небезпечних для людини зонах. Наприклад, автономні сенсорні вузли можуть працювати у зоні забруднення, в гірських районах, в арктичних умовах або в районах бойових дій. Це дозволяє знизити ризики для персоналу та забезпечити безперервність спостереження без фізичної присутності людини.

Ще одним важливим завданням, яке вирішується за допомогою сенсорних мереж, є підвищення ефективності використання ресурсів. Вузли мережі можуть локально здійснювати попередню обробку та агрегацію даних, тим самим знижуючи навантаження на центральні сервери й економлячи пропускну здатність каналів зв'язку.

В табл. 1.2 нижче подано узагальнення основних проблем, які успішно вирішуються завдяки впровадженню сенсорних мереж.

Таблиця 1.2- Проблеми, що вирішуються сенсорними мережами в інформаційних системах

Проблема	Спосіб вирішення за допомогою сенсорних мереж	Очікуваний ефект
Повільний або затриманий збір інформації	Розподілене розміщення сенсорів, передача даних у реальному часі	Оперативне реагування, зниження часу між подією та дією
Небезпечні або важкодоступні зони моніторингу	Використання автономних вузлів у польових умовах	Зменшення ризику для персоналу, забезпечення постійного спостереження
Надмірне навантаження на обчислювальні системи	Локальна попередня обробка та агрегація даних на рівні вузлів	Зниження вимог до центрального процесора, економія обчислювальних ресурсів
Обмеженість каналів зв'язку та їх пропускну здатності	Оптимізація обсягу переданих даних, використання компресії та фільтрації	Зменшення трафіку, стабільна передача без перевантаження мережі
Високе енергоспоживання автономних систем	Режими сну, адаптивні протоколи маршрутизації, енергоощадні мікроконтролери	Подовження строку автономної роботи системи
Відсутність гнучкості та масштабованості	Модульна структура мережі, можливість швидкого додавання або вилучення вузлів	Адаптивність до змін у середовищі, спрощення модернізації
Низька відмовостійкість традиційних систем	Побудова сіткової топології з підтримкою альтернативних маршрутів	Збереження працездатності системи при часткових пошкодженнях
Необхідність адаптивного реагування на змінні умови	Інтелектуальні алгоритми адаптації та машинного навчання в мережевому управлінні	Підвищення ефективності та автономності системи управління

Крім того, за рахунок оптимізації маршрутизації можливо мінімізувати енергоспоживання, що критично важливо в умовах автономного енергоживлення [10].

Застосування сенсорних мереж також дозволяє вирішити проблему масштабованості. Завдяки модульній структурі, нові вузли можуть легко інтегруватися в існуючу мережу без необхідності її повної реконфігурації. Це забезпечує адаптивність до зростання системи або змін конфігурації об'єкта спостереження.

Ще одна важлива проблема – низька надійність традиційних моніторингових систем у динамічному середовищі. У випадку часткової втрати зв'язку або фізичного пошкодження вузлів, сенсорні мережі, особливо побудовані за сітковою топологією, зберігають функціональність завдяки альтернативним маршрутам передачі даних. Це робить їх особливо привабливими для використання в умовах високої нестабільності.

Сенсорні мережі дозволяють реалізовувати когнітивні системи управління, які здатні навчатися, адаптуватися до змін середовища та самостійно оптимізувати свої параметри. Це відкриває можливості для створення інтелектуальних екосистем, де рішення приймаються автоматично на основі локальних і глобальних даних.

Отже, сенсорні мережі не лише підвищують ефективність інформаційних систем, а й формують основу нової парадигми обробки розподілених даних, що орієнтована на автономність, адаптивність та стійкість до зовнішніх впливів. Їх впровадження є стратегічно важливим для побудови інтелектуального цифрового середовища, здатного до самоуправління та масштабування.

Топологія сенсорної мережі визначає фізичну та логічну структуру взаємозв'язків між її вузлами, впливає на характеристики маршрутизації, енергоефективність, стійкість до збоїв і здатність до масштабування. У практиці проектування сенсорних систем найчастіше використовуються три базові моделі топологій: зіркова, деревоподібна та сіткова. Кожна з них має свої переваги, обмеження та сферу доцільного застосування.

У зірковій топології (Star Topology) усі сенсорні вузли під'єднуються безпосередньо до центрального вузла (базової станції або контролера), який здійснює збір та обробку інформації. Такий підхід забезпечує простоту реалізації та мінімальну затримку при передачі даних. Однак система є критично залежною від центрального вузла, відмова якого призводить до повного порушення функціонування мережі [11].

У табл. 1.3 наведено порівняльну характеристику основних типів топологій сенсорних мереж

Таблиця 1.3- Порівняння основних типів топологій сенсорних мереж

Топологія	Характеристика	Переваги	Недоліки
Зіркова	Всі вузли з'єднані з одним центральним вузлом	Простота, низька затримка передачі	Залежність від центрального вузла
Деревоподібна	Ієрархічна структура з рівнями вузлів	Масштабованість, структуроване управління	Вразливість до пошкодження вузлів на вищих рівнях
Сіткова	Кожен вузол з'єднаний з кількома іншими, передача по різних маршрутах	Висока відмовостійкість, динамічна маршрутизація	Висока складність, більше енергоспоживання

Деревоподібна топологія (Tree Topology) реалізує ієрархічну структуру з декількома рівнями вузлів. Інформація передається від сенсорів до центрального вузла через вузли-проміжники. Ця структура є ефективною в умовах великих розподілених систем із необхідністю логічного групування вузлів. Основним недоліком є вразливість до збоїв на верхніх рівнях дерева, що може спричинити втрату підмережі [12].

У сітковій топології (Mesh Topology) кожен вузол має кілька з'єднань з іншими вузлами, що дозволяє передавати дані кількома маршрутами. Це підвищує надійність, забезпечує динамічну маршрутизацію та самовідновлення

у разі пошкодження окремих вузлів. Проте реалізація таких мереж вимагає складніших алгоритмів керування та більших енергетичних затрат [13].

Найчастіше у сучасних рішеннях застосовують гібридні моделі, що поєднують переваги декількох типів для досягнення максимальної ефективності. Для кращої візуалізації особливостей розглянутих топологій на Рисунок 1.3 нижче наведено схематичні зображення кожної з них:

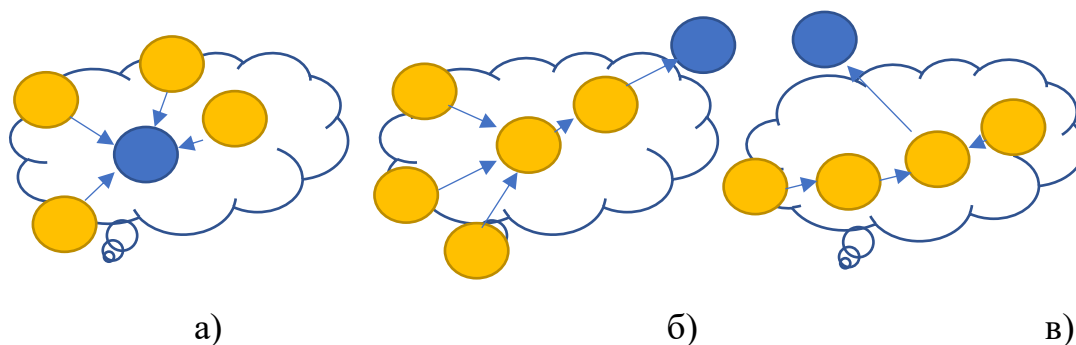


Рис. 1.3 – Основні типи топологій сенсорних мереж: а-зіркова, б-деревоподібна, в-сіткова

Архітектура сенсорної мережі визначає спосіб організації інформаційного обміну, обробки даних і управління мережею. Від типу архітектури залежить масштабованість, продуктивність, енергоефективність і відмовостійкість системи. У сучасних практиках переважають три архітектурні моделі: централізована, децентралізована та гібридна, кожна з яких має свої особливості застосування.

Централізована архітектура передбачає наявність одного основного вузла (центру збору даних або базової станції), який відповідає за прийом, зберігання та обробку інформації, що надходить від сенсорних вузлів. Сенсорні пристрої у такій системі виконують лише функцію вимірювання та передачі даних. Подібна структура проста в реалізації, забезпечує ефективне централізоване управління, але є вразливою до збоїв центрального вузла, а також має обмежену масштабованість при великій кількості вузлів [14].

Децентралізована архітектура базується на розподіленій моделі обробки, де кожен вузол або їх локальні групи мають певну обчислювальну автономність.

Обробка інформації, прийняття рішень і навіть маршрутизація здійснюються на рівні окремих сенсорів або кластерів. Такий підхід забезпечує більшу стійкість до збоїв, кращу масштабованість і адаптивність у динамічних середовищах. Однак зростає складність алгоритмів керування, необхідність синхронізації та енергоспоживання окремих вузлів [15].

У табл. 1.4 узагальнено основні характеристики архітектурних моделей сенсорних мереж:

Таблиця 1.4- Порівняння архітектур сенсорних мереж за моделлю побудови

Тип архітектури	Обробка даних	Переваги	Недоліки
Централізована	На центральному вузлі	Простота реалізації, легкість управління	Високе навантаження на вузол, вразливість до збоїв
Децентралізована	На сенсорних вузлах/кластерах	Висока стійкість, адаптивність, паралельна обробка	Підвищена складність, вищі енерговитрати
Гібридна	Розподілена (периферія + центр)	Баланс продуктивності й стабільності, зниження затримки передачі	Складність налаштування та реалізації, потреба в синхронізації

Гібридна архітектура поєднує переваги обох підходів. У ній частина обробки та прийняття рішень виконується на периферійних рівнях (сенсорних вузлах або кластерних контролерах), а складні обчислення – на рівні централізованого вузла. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на центральний сервер, підвищити стійкість до пошкоджень і зменшити затримку передачі критичних даних [16].

В табл. 1.5 наведено порівняльну логіку передачі даних у централізованих, децентралізованих та гібридних сенсорних мережах, що дозволяє візуально оцінити відмінності між підходами.

Таблиця 1.5- Порівняння логіки роботи архітектур сенсорних мереж

Архітектура	Маршрут передачі даних	Обробка даних	Прийняття рішень	Типове застосування
Централізована	Сенсор → Шлюз → Центральний сервер	Лише на центральному вузлі	Централізовано	Просте середовище з низькою динамікою
Децентралізована	Сенсор ↔ Інші сенсори (кластер) → Зовнішні системи	На рівні вузлів або кластерів	Автономно або колективно	Динамічні середовища, розподілені задачі
Гібридна	Сенсор → Кластер → Центр або назад, залежно від ситуації	Частково локальна, частково центральна	Локальне + централізоване	Гнучкі адаптивні системи, Smart City, військові мережі

Отже, вибір архітектурної моделі сенсорної мережі повинен базуватись на конкретних вимогах до продуктивності, стійкості, енергозбереження та можливості адаптації до змінних умов середовища. У більшості випадків доцільно використовувати гібридні рішення, що забезпечують оптимальний баланс між складністю, ефективністю й масштабованістю.

Однією з найважливіших технічних особливостей сенсорних мереж є функціонування їх вузлів в умовах обмежених енергетичних ресурсів. Оскільки більшість сенсорних пристроїв працює на автономному живленні (акумулятори, батареї, енергетичне самозабезпечення), питання енергоефективності відіграє ключову роль у проєктуванні й експлуатації систем.

Основними споживачами енергії в сенсорному вузлі є:

- модуль вимірювання (датчики),

- модуль обробки (мікроконтролер),
- модуль зв'язку (радіопередавач/приймач).

При цьому, згідно з [17], найбільші витрати енергії припадають на комунікаційний модуль – передача одного біта інформації у десятки разів енерговитратніша, ніж його локальна обробка.

У табл. 1.6 наведено порівняльну оцінку споживання енергії основними компонентами сенсорного вузла:

Таблиця 1.6- Споживання енергії основними модулями сенсорного вузла

Компонент вузла	Середнє споживання енергії	Коментар
Модуль вимірювання	Низьке	Споживання залежить від типу сенсора
Мікроконтролер	Середнє	Залежить від частоти опитування і складності обробки
Радіомодуль (TX/RX)	Високе	Найбільш енерговитратний компонент

Для мінімізації енергоспоживання сучасні сенсорні системи використовують низку інженерних рішень:

- режими сну (sleep mode) для неактивних вузлів,
- енергозберігаючі протоколи передачі (наприклад, LEACH, B-MAC),
- адаптивне регулювання частоти опитування сенсорів,
- енергетичне самозабезпечення за рахунок використання фотоелементів, п'єзоелементів тощо.

Ще одним критичним фактором є час автономної роботи, який напряду залежить від оптимізації як апаратних, так і програмних компонентів. У табл. 1.7. представлено прикладні підходи до енергозбереження.

Таблиця 1.7- Основні підходи до енергозбереження в сенсорних мережах

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метод енергозбереження	Опис	Очікуваний ефект
Використання sleep-режимів	Сенсор вимикає більшість модулів під час неактивності	До 80% економії енергії
Кластеризація вузлів	Дані агрегуються на рівні підмереж, передається лише зведена інформація	Менше передач → менше енерговитрат
Енергетичне самозабезпечення	Сенсорні вузли живляться від сонячних панелей або мікрогенераторів	Незалежність від зовнішнього джерела живлення

Забезпечення енергоефективності є одним із визначальних чинників при побудові сенсорної мережі, що впливає на її надійність, автономність та життєвий цикл. Рациональне використання енергетичних ресурсів дозволяє продовжити термін експлуатації вузлів без технічного обслуговування, що є критично важливим у складнодоступних або ізольованих середовищах.

Підсумовуючи, розуміння структурної організації сенсорних мереж, їх топологічних моделей, архітектурних особливостей і рівня енергетичної автономності дозволяє сформувати цілісне уявлення про функціональні можливості таких систем в умовах реального середовища.

Однак для забезпечення ефективності функціонування сенсорної мережі недостатньо лише оптимального апаратного компонування — ключову роль відіграє обрана модель управління, яка визначає принципи взаємодії між вузлами, маршрутизацію даних та адаптивність до змін. У зв'язку з цим наступний підрозділ присвячено розгляду базових підходів до управління сенсорними мережами, зокрема централізованих, децентралізованих і когнітивних методів як перспективних напрямів інтелектуального керування.

1.3 Процеси розроблення інформаційних систем як засіб підвищення ефективності, безпеки та надійності моніторингу водних об'єктів

Централізований підхід до управління сенсорною мережею базується на принципі концентрації функцій обробки, аналізу та прийняття рішень у межах одного вузла або сервера, до якого надходять усі дані від сенсорних елементів. Така модель має чітку ієрархію: сенсорні вузли виконують лише вимірвальні та передавальні функції, тоді як інтелектуальна обробка зосереджується у центрі управління [18].

Ця схема управління спрощує логіку функціонування мережі, зменшує вимоги до апаратної складності сенсорних вузлів і дозволяє централізовано керувати всіма параметрами системи. Вона також забезпечує єдиний пункт контролю, що спрощує обслуговування, конфігурацію та оновлення мережі. З точки зору реалізації — це найбільш традиційна архітектура, яка добре підходить для невеликих або статичних об'єктів, де ризики відмови центрального вузла мінімальні.

Однак централізована модель має суттєві обмеження. По-перше, вона є надзвичайно вразливою до єдиної точки відмови — вихід з ладу центрального елемента спричиняє зупинку всієї системи. По-друге, зростає затримка передачі інформації, особливо при великій кількості сенсорів або розгалуженій географії розміщення вузлів. По-третє, значні енергозатрати припадають на передавання даних на великі відстані, що негативно позначається на автономності сенсорних пристроїв [19].

На практиці централізований підхід виправданий у таких випадках:

- коли критично важливо забезпечити централізовану безпеку та контроль доступу до даних;
- за наявності стабільного каналу зв'язку та незмінної топології мережі;
- коли вузли є енергообмеженими, а центральний вузол має достатньо ресурсів для обробки.

У табл. 1.8 наведено аналітичне узагальнення переваг і недоліків централізованого управління:

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Таблиця 1.8- Характеристика централізованої моделі управління
сенсорною мережею**

Аспект	Оцінка у централізованій моделі
Надійність	Низька через наявність єдиної точки відмови
Затримка передавання	Висока в разі масштабної або віддаленої інфраструктури
Енергоспоживання вузлів	Високе — зумовлено необхідністю передавати всі дані без попередньої фільтрації
Масштабованість	Обмежена, потребує модифікації центрального вузла
Простота реалізації	Висока, особливо в невеликих або статичних мережах
Безпека та контроль	Високий рівень централізованого керування

Отже, централізовані моделі є доцільними для задач з фіксованими параметрами середовища, де система не піддається значним зовнішнім впливам. У масштабних або динамічних мережах такі підходи поступаються децентралізованим і когнітивним структурам, які забезпечують більшу гнучкість, адаптивність і енергоефективність.

Децентралізоване управління у сенсорних мережах ґрунтується на принципі автономної або колективної діяльності вузлів, які самостійно приймають рішення на основі локально доступних даних. На відміну від централізованих систем, обробка, маршрутизація та фільтрація інформації в децентралізованій моделі розподіляються між елементами мережі. Це дозволяє підвищити стійкість системи, забезпечити її гнучкість у динамічному середовищі та суттєво зменшити енергоспоживання на передачу даних [8].

У такій архітектурі сенсорні вузли виступають не лише як елементи збору, а й як активні обчислювальні агенти. Вони здатні самостійно виявляти аномалії, локально оцінювати рівень загроз чи змін параметрів середовища, передаючи лише узагальнені або критично важливі дані. Це зменшує навантаження на мережу, знижує обсяг трафіку та дозволяє продовжити тривалість автономної роботи вузлів [20].

Однією з ключових переваг децентралізованих рішень є відсутність єдиної точки відмови: при виході з ладу одного вузла його функції можуть бути

перерозподілені між іншими елементами. Така структура є більш стійкою до атак, збоїв і фізичних пошкоджень у порівнянні з централізованими мережами. Крім того, у складних середовищах (наприклад, військових або екологічно небезпечних зонах) вона дає змогу миттєво реагувати на зміни, не чекаючи відповіді з центрального вузла.

У табл. 1.9 узагальнено переваги та обмеження децентралізованих моделей управління.

Таблиця 1.9- Характеристика децентралізованої моделі управління сенсорною мережею

Аспект	Оцінка у децентралізованій моделі
Надійність	Висока, система зберігає працездатність при відмові окремих вузлів
Затримка передавання	Мінімальна в локальному масштабі
Енергоспоживання вузлів	Середнє, оскільки присутні локальні обчислення
Масштабованість	Висока, можлива динамічна адаптація до змін топології
Простота реалізації	Низька, вимагає складних алгоритмів синхронізації
Безпека та контроль	Розподілений контроль, підвищена стійкість до збоїв

Водночас реалізація децентралізованої логіки управління пов'язана з рядом технічних викликів:

- Підвищена складність алгоритмів координації та синхронізації між вузлами.
- Необхідність забезпечення узгодженості локальних рішень із глобальними цілями мережі.
- Вища вартість вузлів, оскільки вони потребують потужніших мікроконтролерів і програмного забезпечення.

Децентралізовані підходи знаходять застосування у мережах, де необхідна автономність вузлів, гнучкість у зміні топології та адаптація до

складних умов експлуатації, зокрема у військових, екологічних, медичних і транспортних системах.

Підходи до управління сенсорними мережами є ключовим фактором, що визначає ефективність їх функціонування, здатність до адаптації, надійність та енергоефективність. У практиці застосовуються три основні моделі управління: централізована, децентралізована та когнітивна, кожна з яких має свої особливості, переваги й обмеження.

Централізований підхід передбачає передачу усієї інформації від сенсорних вузлів до центрального вузла, який виконує функції збору, обробки й прийняття рішень. Така модель є простою у реалізації, забезпечує централізований контроль і добре працює у невеликих, стабільних системах із передбачуваними параметрами середовища. Однак вона має низку критичних недоліків: вразливість до збоїв центрального елемента, затримки в обробці інформації та високі енергетичні витрати на передачу даних на великі відстані. Надмірне навантаження на єдину точку прийняття рішень знижує масштабованість і робить систему вразливою до відмов, особливо в динамічних середовищах.

На відміну від централізованої моделі, децентралізований підхід дозволяє сенсорним вузлам самостійно аналізувати отримані дані, приймати локальні рішення та передавати лише критично важливу або агреговану інформацію. Така модель є більш стійкою до відмов окремих елементів, дозволяє уникнути перевантаження каналів зв'язку та краще підходить для роботи у складних середовищах, де топологія мережі може змінюватися у реальному часі. Основними перевагами цього підходу є автономність, гнучкість та підвищена надійність. Проте реалізація децентралізованих систем вимагає складніших алгоритмів синхронізації між вузлами, збільшує обчислювальне навантаження на кожен елемент та потребує розширених програмних ресурсів. Такий підхід особливо ефективний у військових, екологічних, транспортних системах і в умовах розподіленої інфраструктури.

Найбільш перспективним сучасним напрямом є когнітивне управління, яке базується на застосуванні інтелектуальних алгоритмів, здатних адаптувати

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

параметри роботи сенсорної мережі відповідно до змін середовища. Когнітивні мережі мають властивості самонавчання, самоконфігурації, самодіагностики та адаптивної маршрутизації. Така система аналізує не лише вхідні дані, а й власний стан, змінюючи логіку функціонування без зовнішнього втручання. До основних механізмів, що реалізуються в когнітивному управлінні, належать алгоритми штучного інтелекту, глибокого та підкріплювального навчання, нейронні мережі, баєсівські моделі ухвалення рішень. Попри високу складність реалізації, такі системи забезпечують максимальну адаптивність, стійкість до збоїв і здатність до оптимізації енергоспоживання. Вони є надзвичайно ефективними для задач у середовищах з високим рівнем невизначеності або динаміки, де традиційні підходи втрачають актуальність.

Порівняльний аналіз засвідчує, що кожен з підходів має свою сферу доцільного застосування: централізоване управління оптимальне для простих мереж зі стабільною топологією, децентралізоване — для адаптивних систем у складному середовищі, когнітивне — для високодинамічних, критичних застосувань із потребою у самонавчанні. У сучасних практиках усе частіше реалізуються гібридні моделі, що поєднують переваги кожного з підходів — наприклад, когнітивна логіка у децентралізованих підмережах із централізованим архівуванням даних і візуалізацією. Це забезпечує баланс між продуктивністю, стабільністю, гнучкістю й енергоефективністю, що є ключовим для інтелектуального управління сенсорними системами в інформаційних технологіях.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що ефективне управління сенсорною мережею передбачає гнучке поєднання підходів, адаптованих до конкретних умов функціонування системи. Централізовані моделі забезпечують простоту реалізації, децентралізовані — стійкість до збоїв і автономність, а когнітивні — максимальний рівень адаптивності та інтелектуального прийняття рішень. У реальних умовах доцільним є використання гібридних варіантів, що враховують обмеження ресурсів, особливості топології та задачі конкретної інформаційної системи. Розуміння принципів управління створює підґрунтя для технічно виваженого вибору апаратної платформи та програмних інструментів,

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які дозволять реалізувати практичну частину системи управління сенсорною мережею.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Розробка мережі моніторингу водних об'єктів

Ключовим компонентом HIS є мережа моніторингу, яка включає збір польових вимірювань. Фундаментальними факторами, що впливають на проектування мережі моніторингу, є цілі моніторингу (теперішні та майбутні), фізичні характеристики систем та наявні ресурси (людські та фінансові). Першим кроком у розробці HIS є визначення мети моніторингу. Наприклад, чи має мережа моніторингу характеризувати базові умови у водозборі з плином часу, визначати вплив зміни клімату на розвиток людини, контролювати вплив певного проекту на водну систему чи поєднання всіх цілей. Виходячи з конкретних цілей та часових рамок, що саме потрібно відбирати, де, як часто та наскільки точно можна визначити збір проб. Вибір відповідного масштабу та обсягу залежить від цілей моніторингу та бюджетних/ресурсних обмежень. Витрати, пов'язані зі створенням та експлуатацією мережі моніторингу, включають придбання землі, будівництво станції, закупівлю та встановлення обладнання, експлуатацію станції, технічне обслуговування, обробку та зберігання даних, а також укомплектування польових станцій та центрів обробки даних. Після встановлення зв'язку між обраним показником ефективності та витратами можна знайти оптимальну мережу.

Цілі моніторингу впливають на щільність станцій моніторингу та тривалість операцій. Типи мереж моніторингу можна класифікувати як базові, управлінські та проектні.

Базовий рівень : Низька щільність мережі станцій моніторингу та тривалий період роботи характеризують базові мережі для забезпечення синоптичного набору даних.

Управління : Мережі управління вирішують проблеми водних ресурсів, доповнюючи базову мережу збільшеною кількістю станцій моніторингу, які

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

можуть бути змінені (розташування станцій та змінні) для врахування змінних умов управління ресурсами.

Проект : Проектні мережі доповнюють базові та управлінські мережі та встановлюються для сприяння плануванню, експлуатації та моніторингу умов у проекті чи дослідженні та навколо нього. Останні були б доречними.

для розробки, експлуатації та оцінки змін, пов'язаних з шахтою.

Мережі моніторингу не є статичними, тому їх необхідно періодично оцінювати та змінювати. Цілі необхідно переглядати, а дані – переглядати, щоб визначити, чи адекватно вони враховують просторово-часову мінливість для управління ресурсами. Тим не менш, довгострокова базова мережа повинна підтримуватися з мінімальними змінами або порушеннями, щоб забезпечити довгостроковий облік гідрометеорологічних умов.

Інтеграція мереж моніторингу

Оскільки більшість організацій контролюють лише обмежений діапазон гідрологічного циклу, мережа моніторингу для підтримки управління водними ресурсами повинна мати скоординований підхід до вимірювання гідрометеорологічних, поверхневих, підземних вод та стану якості води. Базова мережа гідрометеорологічного моніторингу повинна підтримувати мережі моніторингу поверхневих та підземних вод у визначенні розрахунків стоку опадів та зон поповнення підземних вод відповідно. Для базових мереж моніторингу поверхневих вод просторове покриття станцій рівня води та скиду води повинно мати достатнє просторове покриття для розрахунку бюджетів водозбірних вод. Подібні міркування щодо водного балансу та оцінки ресурсів також застосовуються до мереж моніторингу підземних вод та якості води. Організаційна інтеграція мереж означає, що мережі є взаємодоповнювальними та що між установами відбувається регулярний обмін польовими даними для отримання автентичних, високоякісних даних.

Типовим прикладом є гіпотетичний приклад, зображений на рисунку 2.1, де керівники водних ресурсів у басейні стикаються з низкою проблем управління водозбором, що стосуються кількості та якості підземних і поверхневих вод. Ці проблеми включають повені поблизу міста; розподіл води між

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

муніципалітетами, зрошенням, промисловістю та екологічним секторами; стійкість підземних вод для розширення промисловості поблизу міста; та оптимізацію роботи водосховищ для запобігання повеням та задоволення потреб у воді нижче за течією в періоди низьких опадів. Тип моніторингового обладнання, представленого в прикладі, пояснюється в наступних розділах.

Для прийняття рішень щодо розподілу води було розроблено серію гідрометеорологічних, поверхневих та підземних водних мереж, щоб зрозуміти ці проблеми в просторі та з плином часу.

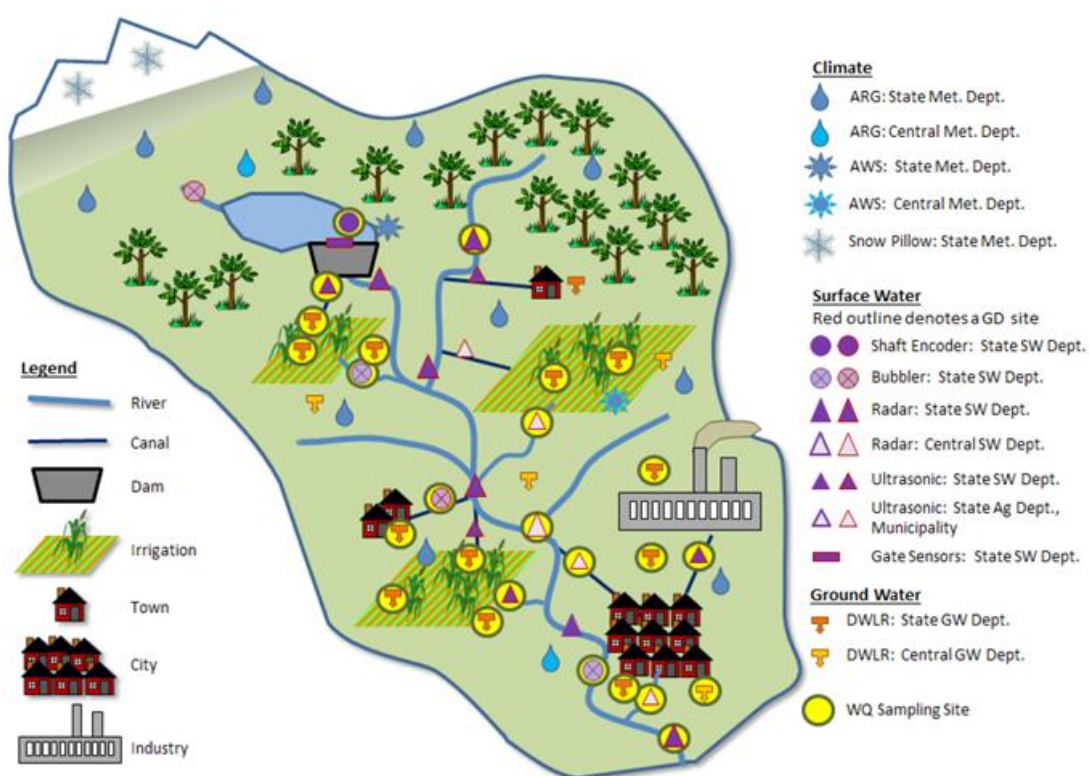


Рис. - 2.1 Приклад басейну з мережами моніторингу клімату, поверхневих та підземних вод, що належать різним установам. ARG — автоматичний дощомір, AWS — автоматична метеостанція, DWLR — цифровий реєстратор рівня води

У цьому прикладі різні департаменти центрального уряду створили мережі базового моніторингу для всієї країни з обмеженою кількістю станцій моніторингу, розташованих у цьому басейні. Що стосується гідрометеорологічного моніторингу, державний метеорологічний департамент (SMD) доповнив автоматичні дощоміри (ARG) центрального метеорологічного

департаменту (CMD) 10 додатковими ARG, щоб забезпечити детальніше розуміння розподілу опадів для планування, а також збільшити потужність оповіщення для систем попередження про повені. Оскільки у верхів'ях гірських річок випадає більша кількість опадів та вони просторово різноманітніші, у регіоні було розміщено більшу щільність опадометрів, включаючи снігові подушки для фіксації та характеристики умов снігового покриву. SMD та CMD встановили автоматичні метеостанції (AWS) на водосховищі та на зрошуваних територіях для обчислення евапотранспірації для сезонного планування водосховища та потреб у зрошенні. Враховуючи рівномірність евапотранспірації по всьому басейну, для вирішення питань управління водними ресурсами потрібно лише дві AWS.

2.2 Мережі моніторингу поверхневих вод

Мережі моніторингу поверхневих вод у басейні були створені для кількісної оцінки розподілу води в річковій системі, а також антропогенного (під впливом людини) забору, споживання та зворотного потоку води. Центральне управління поверхневими водами (ЦДУВ) експлуатує водомірний пристрій на головній річці посередині басейну як частину базової системи моніторингу на рівні країни, таким чином. Державне управління водних ресурсів (SWD) розширило річкові водомірні станції для підтримки управління повенями та розподілу води. Водомірні станції скиду води були розташовані на важливих стиках вздовж головної річки, а також на значних притоках, щоб допомогти в оцінці потоків як для управління в режимі реального часу, так і для планування. Усі станції моніторингу поверхневих вод використовують реєстратори рівня води з вимірюваннями стоку на конкретних ділянках для розробки кривої норми витрати. Там, де розташовані мости, використовувалися радарні датчики, шахтні енкадери використовувалися зі стоп-сигнальними колодязями, а там, де немає споруд, використовувалися барботери. Оскільки повені викликають занепокоєння на ділянках річок поблизу міста, реєстратори рівня води були розміщені на навколишній ділянці, щоб попередити про неминучу повінь

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(ділянки А та В). Окрім центрального водомірного станції SWD, водомірні станції мають телеметричні можливості як частину системи попередження про повені.

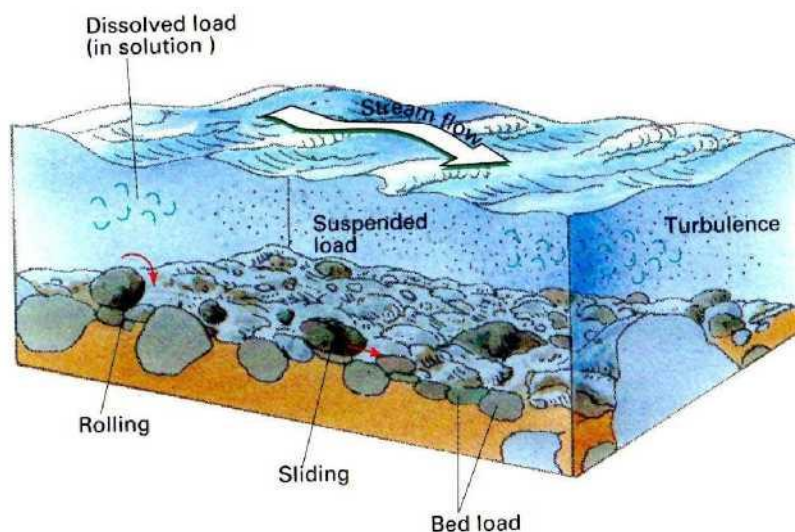


Рис. 2.2 - Схематичне зображення механізмів перенесення зважених речовин та донного наносу в річкових умовах

Для планування та експлуатації водосховища, водосховище та пов'язана з ним система каналів, що підтримують зрошувані території, були додатково оснащені телеметричними приладами (Ділянка С). Рівень води в річці вище за течією від водосховища вимірювався за допомогою барботера для прогнозування притоку з головної притоки (Ділянка D). Для визначення рівня води використовується стоп-колодязь з датчиком валу. Поруч зі стоп-колодязем розташована система автоматичного вимірювання рівня води (AWS) для прогнозування кількості опадів та випаровування, яка використовується в управлінні водосховищем та довгостроковому плануванні. На радіальних затворах водосховища встановлені датчики рівня води, що використовуються для вимірювання витрати води як функції відкриття затворів, для покращення експлуатації. Канали, що ведуть до зони управління, оснащені ультразвуковим реєстратором рівня води для визначення потоку, що скидається для зрошення. Канали, що входять до зон управління зрошенням та з них, контролюються як за якістю, так і за кількістю води для оцінки методів зрошення.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Цифрові реєстратори водяних важелів (ЦВВ), що контролюються центральним управлінням підземних вод (ЦУПВ), розподілені для регіональної характеристики стану підземних вод. З огляду на використання зрошувальних систем та занепокоєння щодо розширення промисловості щодо підземних вод, державне Управління ЦУПВ збільшило щільність розміщення реєстраторів на зрошувальних полях та навколо них, навколо міст, що використовують підземні води як джерело питної води, та поблизу потенційного промислового будівництва (ділянки Е). Оскільки в горах мало ресурсів підземних вод, ЦВВ там не було встановлено.

Якість води часто контролюється на станціях, де також вимірюється кількість води, щоб розрахувати загальне навантаження проблемних компонентів (ЗКС). У цьому басейні державний департамент якості води контролює якість води в річках та підземних водах. Якість води вимірюється вище та нижче за течією від зрошувальних, промислових та комунальних територій (ділянки А, В, С, Е). Державний департамент охорони здоров'я контролює джерела питної води з поверхневих водозабірних колодязів та підземних вод.

У басейні всі центральні, державні та муніципальні мережі моніторингу допомагають управлінням водними ресурсами в операціях у режимі реального часу та довгостроковому плануванні. Окремо знання про рух води лише з однієї мережі не забезпечать комплексної характеристики потоку, зберігання та використання води в басейні. Саме об'єднання ресурсів дозволяє приймати більш обґрунтовані рішення, що створює основу для кращого управління водними ресурсами.

2.3 Структура інформаційних потоків у сенсорній мережі

Структура інформаційних потоків у сенсорній мережі. Інформаційна модель сенсорної мережі формується на основі аналізу потоків даних, які циркулюють між вузлами збору, проміжними обчислювальними модулями (шлюзами) та центральним сервером. Основна функція такої моделі —

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечити ефективне, безпечне та енергоефективне передавання сенсорної інформації в умовах розподіленої, потенційно динамічної архітектури.

Структура інформаційних потоків базується на кількох рівнях комунікації. На першому рівні сенсорні вузли здійснюють вимірювання фізичних параметрів і передають отримані дані до найближчого шлюзу або безпосередньо до сервера. Обсяг і частота передавання даних залежить від налаштувань інтервалу збору, типу сенсора, режиму роботи (переривання, опитування, тригерна активація) та енергетичних обмежень вузла. На цьому етапі дані можуть мати мінімальну обробку або бути попередньо агреговані.

Другий рівень — рівень агрегації та маршрутизації. Тут функціонують вузли-шлюзи або локальні сервери (на кшталт Raspberry Pi), які здійснюють накопичення, структурування та первинну фільтрацію даних. Основною функцією шлюзу є зниження навантаження на центральну систему за рахунок передачі лише релевантної або зміненої інформації.

Третій рівень — це центральний сервер або хмарний кластер, на якому відбувається кінцева обробка, збереження, візуалізація та прийняття рішень. На цьому рівні реалізується логіка прийняття рішень у когнітивних або гібридних моделях управління, забезпечується доступ користувачів до інформації через вебінтерфейси та API.

На рисунку 2.3 представлено базові маршрути циркуляції даних у сенсорній мережі, які відповідають найбільш поширеним варіантам її архітектурної реалізації. Схема ілюструє структурну організацію обміну даними між сенсорними вузлами, вузлами агрегації (шлюзами) та центральним сервером керування. Залежно від складності системи, топології, розташування вузлів та цільового застосування можуть використовуватись різні моделі маршрутизації.

Схема на рис. 2.3 також ілюструє наявність зворотного каналу передачі інформації – від сервера до вузлів, що дає змогу здійснювати дистанційне керування конфігурацією, активацію вузлів, оновлення логіки обробки чи зміни у маршрутизації.

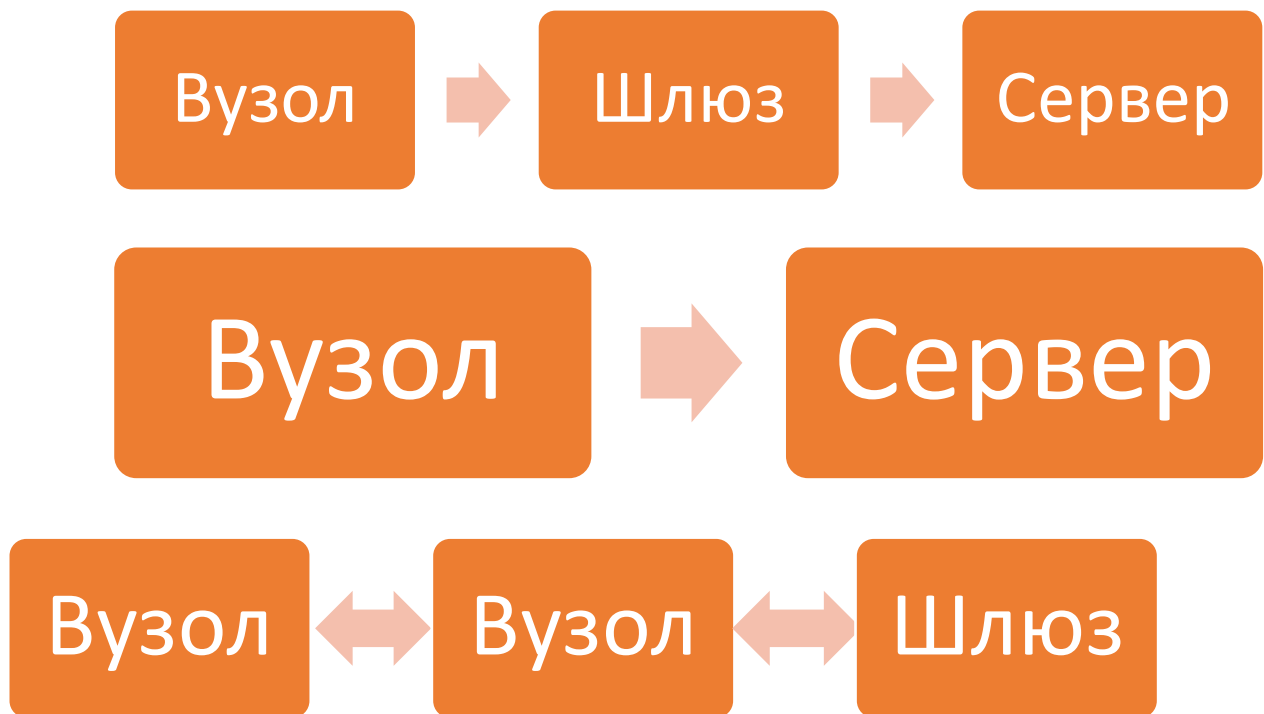


Рис. 2.3 - Принципова схема маршрутів циркуляції даних

Перший варіант маршруту – «Узел → Шлюз → Сервер» – є типовою трирівневою архітектурною моделлю сенсорної мережі. У цьому випадку сенсорні вузли передають дані до найближчого вузла-шлюзу (наприклад, Raspberry Pi), який здійснює попередню агрегацію, буферизацію або фільтрацію інформації. Шлюз виконує функцію проміжного модуля зв'язку та передає дані на центральний сервер, де відбувається подальша обробка та збереження. Така модель забезпечує зменшення навантаження на сервер, знижує енергоспоживання вузлів за рахунок менш частих сеансів зв'язку та підвищує надійність за рахунок локальної буферизації.

Другий варіант – «Узел → Сервер» – реалізується в простіших або тестових конфігураціях, де відсутня проміжна ланка у вигляді шлюзу. Сенсорні вузли напряду надсилають дані до центрального сервера. Ця модель може бути ефективною у випадку невеликої кількості вузлів або в умовах гарантованого мережевого з'єднання з сервером. Водночас вона характеризується вищими вимогами до енергоспоживання вузлів, оскільки передача здійснюється безпосередньо через Wi-Fi або інші канали.

Третій варіант – «Вузол ↔ Вузол ↔ Шлюз» – відповідає кластеризованій або децентралізованій моделі сенсорної мережі. Тут вузли можуть обмінюватися інформацією між собою (peer-to-peer), виконуючи попередню обробку, порівняння або фільтрацію даних перед передаванням до шлюзу. Це дозволяє розвантажити шлюзи та сервери, підвищити адаптивність системи, знизити затримки та забезпечити більшу стійкість до відмов окремих компонентів. Такий тип маршрутизації характерний для когнітивних і самовідновлюваних сенсорних систем.

Для передавання інформації на нижньому рівні зазвичай використовується протокол MQTT, який забезпечує низьке енергоспоживання, підтримку офлайн-режимів і мінімальні затримки. На вищих рівнях взаємодії застосовуються REST API, WebSocket або інші транспортні протоколи HTTP-зв'язку.

Типова логіка інформаційної взаємодії представлена у вигляді схеми, що ілюструє напрямки потоків даних, основні канали зв'язку та функціональні елементи мережі. Згідно з цією логікою, кожен елемент виконує визначену роль у загальному процесі моніторингу, збору та аналізу даних.

Наявність чітко визначеної структури потоків забезпечує такі переваги: – зменшення затримок передачі інформації; – підвищення стійкості системи до збоїв і перевантажень; – можливість балансування навантаження між елементами; – формування основи для алгоритмів оптимізації енергоспоживання.

Інформаційна модель також передбачає зворотні канали управління — з сервера до вузлів (для оновлення конфігурації, активації, режимів енергозбереження тощо), що формує повноцінну двосторонню систему керування.

У подальшому ми розглянемо типи даних, які передаються в межах цієї структури, функціональні ролі компонентів мережі, а також здійснено розрахунок обсягу трафіку та навантаження на ключові вузли системи.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Вибір платформи та інструментів розробки

Побудова системи управління сенсорною мережею вимагає чіткого визначення технічної основи, яка забезпечить надійність, масштабованість та енергоефективність. Одним з ключових критеріїв вибору є відповідність платформи вимогам до обробки даних у реальному часі, взаємодії між вузлами, гнучкості в налаштуванні протоколів передачі, а також доступності програмних бібліотек і засобів розробки.

Серед доступних апаратних платформ найбільш доцільним вибором є мікроконтролери родини ESP (ESP32, ESP8266), що поєднують у собі вбудований Wi-Fi-модуль, низьке енергоспоживання та достатню обчислювальну потужність для задач збору, обробки та передачі сенсорних даних. Альтернативно можуть застосовуватись плати Raspberry Pi для серверної логіки та первинного аналізу інформації, зокрема в кластерній моделі зберігання. У разі необхідності розгортання локального шлюзу або керування додатковими модулями також доцільним є використання Arduino у якості вузлів збору.

З огляду на гнучкість та розширюваність програмного середовища, для реалізації програмної частини обґрунтовано обрано мову програмування Python. Вона забезпечує широкий набір бібліотек для роботи з потоками даних, протоколами передачі, сенсорними модулями та мережевими інтерфейсами. Зокрема, бібліотека `paho-mqtt` дозволяє реалізувати легкий протокол MQTT для передачі сенсорних повідомлень, а `socket`, `asyncio`, `pyserial`, `scapy` та `json` — для мережевої взаємодії, асинхронної обробки, збору даних з UART-пристроїв та структуризації інформації відповідно. Для локального збереження або подальшого аналізу доцільним є використання `sqlite3`, `csv`, `pandas`, `matplotlib`, що дають змогу створити візуалізацію або вести логування потоку даних.

У межах серверної частини системи для інтерактивного контролю та відображення стану сенсорної мережі доцільно застосувати фреймворк Flask або FastAPI, які дозволяють створити REST-інтерфейс до зібраної інформації. При необхідності — інтегрувати вебпанель моніторингу у вигляді вебзастосунку, що дозволяє здійснювати перегляд, аналіз і контроль сенсорних вузлів у реальному часі.

З урахуванням вимог до масштабованості та розширення в майбутньому, Python як мова з відкритим вихідним кодом і величезною спільнотою забезпечує легку підтримку, модульність і незалежність від комерційних обмежень. Такий вибір дозволяє реалізувати повноцінну систему управління сенсорною мережею, здатну до гнучкої адаптації, налаштування параметрів і інтеграції в ширші інформаційно-аналітичні середовища.

Побудова системи управління сенсорною мережею вимагає ретельного вибору апаратної платформи та програмних засобів, здатних забезпечити ефективну взаємодію вузлів, стабільну передачу даних, енергоощадність та масштабованість. Такий вибір повинен ґрунтуватися на відповідності обраних рішень специфіці архітектури, обмеженням середовища функціонування та поставленим завданням системи.

Апаратною основою для реалізації сенсорних вузлів доцільно обрано мікроконтролери серії ESP, зокрема ESP32. Вони мають вбудований Wi-Fi-модуль, підтримують Bluetooth, характеризуються низьким енергоспоживанням і мають достатню обчислювальну потужність для локальної обробки даних. У разі потреби підключення простіших сенсорів або взаємодії з аналоговими пристроями можливе також використання платформи Arduino. Для реалізації логіки обробки, збереження та візуалізації даних обґрунтовано обрано мікрокомп'ютер Raspberry Pi, що функціонує як шлюз або локальний сервер. Така архітектура забезпечує розподіл навантаження між сенсорними вузлами та обчислювальним центром.

Усі програмні компоненти реалізуються на мові Python, яка є оптимальним вибором завдяки своїй гнучкості, великій кількості бібліотек, активній спільноті розробників і відкритості екосистеми. Зокрема, для

організації зв'язку між вузлами обрано протокол MQTT, що реалізується за допомогою бібліотеки `raho-mqtt`.

Узагальнено вибір технічних і програмних компонентів подано у табл. 3.1.

Таблиця 3.1- Апаратні та програмні засоби реалізації системи управління сенсорною мережею

Компонент системи	Обрані інструменти / платформи	Призначення в системі	Переваги вибору
Сенсорні вузли	ESP32 / Arduino	Збір та передача даних з фізичних сенсорів	Низьке енергоспоживання, бездротовий зв'язок, підтримка Python
Шлюз / сервер	Raspberry Pi	Локальна обробка, збереження даних, керування мережею	Висока гнучкість, підтримка Linux, інтеграція з Python
Мова програмування	Python	Реалізація логіки, збору, обробки, маршрутизації даних	Багата екосистема бібліотек, активна спільнота, простота розвитку
Протокол передачі даних	MQTT (<code>raho-mqtt</code>)	Комунікація між вузлами, передача сенсорної інформації	Енергоефективність, надійність, низьке навантаження на мережу
Серверний інтерфейс	Flask / FastAPI	Побудова API та вебінтерфейсу для моніторингу та керування	Легкість розгортання, підтримка REST, інтеграція з Python
Аналітика і візуалізація	Pandas, Matplotlib, SQLite3	Збереження, фільтрація, аналіз, виведення статистичних даних	Гнучкість у роботі з даними, побудова графіків, простота інтеграції

Його перевага — у використанні публікаційно-підписної моделі обміну повідомленнями, що знижує навантаження на мережу, забезпечує ефективну маршрутизацію даних навіть при нестабільному з'єднанні та сприяє енергоощадності. Для побудови серверного інтерфейсу, REST API і візуального контролю доцільним є використання фреймворків Flask або FastAPI. Вони дозволяють інтегрувати сенсорну мережу в інформаційні середовища й реалізувати інтерфейс користувача для спостереження та керування вузлами. Для обробки даних, логування, статистичного аналізу та побудови графіків використовуються бібліотеки pandas, matplotlib, sqlite3, csv.

У межах безпеки взаємодії реалізовано можливість можливість впровадження TLS/SSL для MQTT, обмеження доступу до API через токени автентифікації, а також логування подій системи. Усі інструменти, що застосовуються, є відкритими, вільними до використання та сумісними з апаратною платформою.

Зроблений вибір забезпечує оптимальний баланс між функціональністю, енергоефективністю, простотою впровадження та розширюваністю системи. Обрані компоненти будуть безпосередньо використані при побудові інформаційної моделі та реалізації функціоналу управління мережею, що стане основою наступного розділу роботи.

3.2 Система моніторингу поверхневих вод

Мережі моніторингу поверхневих вод складаються із системи гідрометричних станцій, які вимірюють рівень води та швидкість скиду води. Мережа надає гідрологічні дані, необхідні для планування, проектування та управління збереженням та використанням водних та інших природних ресурсів річкової системи. Типові застосування мережі моніторингу поверхневих вод включають водні бюджети, планування розподілу води, мінливість клімату (повені, посуха), проектування інфраструктури, системи попередження в режимі реального часу, операції, управління водосховищами, управління ресурсами, аналіз ризиків, розробку та оцінку політики, а також наукові дослідження.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мережі моніторингу поверхневих вод також є частиною інтегрованої НІС, що включає гідрометеорологічні, геогідрологічні та мережі моніторингу якості води.

Шляхом оцінки потреб користувачів даних, визначення цілей моніторингу є першочерговим міркуванням при проектуванні мережі моніторингу поверхневих вод. Другим міркуванням при проектуванні мережі моніторингу поверхневих вод є часовий та просторовий аналіз потоку та рівня води по всій річковій/озерній системі. Дані моніторингу повинні забезпечувати точну оцінку відповідних характеристик гідрологічного режиму річкового басейну. Таким чином, на вимоги до мережі значною мірою впливають:

- Цілі моніторингу, визначені потребами користувачів гідрологічних даних
- Часова та просторова мінливість річкового стоку, що визначається
- Кліматичні особливості, такі як режим опадів у водозбірному басейні
- Евапотранспірація
- Фізико-географічні особливості річкового басейну, такі як розмір, нахил, форма, ґрунти, землекористування та характеристики дренажу

Ці фактори, разом із наявністю фінансування, робочої сили та інших ресурсів, диктують дизайн мережі. Рекомендується, що за обмежених ресурсів краще забезпечити меншу кількість станцій моніторингу вищої якості, ніж більшу кількість станцій моніторингу низької якості.

Проектування мережі

Проектування системи моніторингу поверхневих вод відповідає загальній логіці проектування загальної системи моніторингу, і багато що починається з розуміння цілей. Залежно від цілей та умов, можна розглянути кілька типів мереж моніторингу на основі географічного розміру; геоморфології; а також соціально-економічних, екологічних та регуляторних вимог у межах зони інтересу[21]. Базові мережі мають принаймні одну базову станцію в кожній кліматологічній та фізико-географічній області. Розташування станцій вздовж головних річок повинно представляти більшу частину скиду та місця зі значними змінами обсягу скиду. Зміни обсягу включають вище за течією від відводів або

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

біфуркацій та нижче за течією від місця злиття з притоками. Якщо підходяще місце недоступне нижче місця злиття, ділянки можна розташувати вище місця злиття, бажано на притоці. Під час встановлення ділянок нижче за течією від місця злиття слід подбати про те, щоб жоден інший невеликий потік не впадав у головну річку. Площі водозбірних басейнів, обчислені від витoku до послідовних станцій моніторингу на великій річці, бажано повинні відрізнятися більш ніж на 10 відсотків, щоб різниця в кількості стоку була значною. Для водосховищ та озер слід реєструвати рівні води, а також стік у річки та канали.

Важливим для характеристики системи поверхневих вод є скид у притоках та річках. Хоча моніторинг усіх приток не є фінансово доцільним або практичним за наявних ресурсів, необхідно вибрати підмножину «репрезентативних» струмків та річок для оцінки стоку в подібних менших водоймах без вимірювань. Ці дані дозволяють користувачам оцінити потоки в неконтрольованих притоках з подібними фізико-географічними, рослинними та землекористувальними характеристиками. Якщо вибирати між подібними басейнами для розміщення моніторингової станції, слід обрати той, що має менший вплив людини (більш природний). Таким чином, слід ретельно підходити до проектування мережі, щоб забезпечити належне покриття всіх окремих гідрологічних зон [22].

Прибережні річки потребують особливої уваги під час розвитку мережі через вплив підпору, пов'язаного з припливами та роздвоєнням русел у дельтах. У цих регіонах традиційні залежності рівня води від витрати мають обмежене застосування. Показники рівня води слід записувати з частими показниками витрати. Для менших річок слід розглянути використання ADCP для безперервного вимірювання витрати.

ВМО надає рекомендовану мінімальну щільність станцій річкової мережі для рівнинних, гірських та посушливих регіонів (Таблиця 3.2). Оскільки ці рекомендації є узагальненими, остаточна щільність мережі повинна зрештою базуватися на цілях мережі, часовій та просторовій мінливості стадій та стоку річки, а також на наявності фінансування, робочої сили та інших ресурсів[23].

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2- Мінімальна щільність гідрологічної мережі згідно з ВМО (площа в км² для однієї станції). Ці показники слід вважати приблизними орієнтовними

Тип регіону	Діапазон норм для мінімальної мережі	Діапазон тимчасових норм, що допускаються у складних умовах
Рівнинні регіони	1 000 – 2 000	3 000 – 10 000
Гірські регіони	300 – 1 000 ²	1 000 – 5 000
Аридні (посушливі)	5 000 ² – 20 000	-----

Використання існуючих мереж поверхневих вод може забезпечити історичне розуміння часу та величини стоку, а також виявити прогалини в поточній мережі. Існуючі водомірні станції слід враховувати в новій мережі моніторингу; однак їх розташування потребує повторної оцінки з урахуванням оновлених цілей та сукупних знань про гідрологічну систему. Кожну станцію необхідно переглянути, щоб визначити, чи надає вона необхідні дані для ефективного управління водними ресурсами. Гідрологи та планувальники водних ресурсів неохоче припиняють роботу водомірних станцій, навіть якщо вони, можливо, виконали свої цілі. Під час проектування та оцінки мереж важливо, щоб станції, які більше не надають значної користі, були переміщені або припинені. Оскільки проектування мережі моніторингу є динамічним процесом, мережі повинні постійно переглядатися та оновлюватися, щоб вони реагували на нові пріоритети, зміни в політиці та фінансові зміни [24].

Станції моніторингу

Ключовими компонентами характеристики системи поверхневих вод є вимірювання рівнів води та витрат. Рівень води (стад) вимірюється безпосередньо як висота поверхні води над точкою відліку (тальвегом) або відміченням. Рівень води можна вимірювати за допомогою водомірної рейки або

постійно контролювати за допомогою самописців рівня води для створення часового ряду рівня води на ділянці.

Для вимірювання потоків води (*скидів*) основним вимірюванням є рівень води. На більшості місць відбору проб для обчислення стоку з рівня використовується серія одночасних показників рівня та поточного водоспоживання (вимірювання стоку) для створення кривої залежності рівня води від стоку [25]. Крива застосовується до часового ряду рівня для обчислення часового ряду стоку. Форма, надійність та стабільність залежності рівня води від стоку контролюються ділянкою каналу на водомірній станції або нижче за течією від неї. Ці «елементи контролю» можуть бути природними або штучними (створеними людиною для вимірювання стоку). Природні елементи контролю виникають там, де відбувається природне звуження або спадний розрив схилу каналу внаслідок виходу гірських порід або локального звуження ширини, спричиненого будівництвом мосту, тертям об русло каналу або потоком над водоспадом. Для розробки залежності рівня води від стоку необхідні кілька одночасних вимірювань рівня води та стоку в діапазоні стоків. Якщо русло річки змінюється, співвідношення рівня води до стоку необхідно періодично зміщувати, щоб врахувати нові умови русла.

Були розроблені штучні засоби контролю для безпосереднього зчитування витрати води з рівня води, що усуває необхідність у великій кількості поточних показників лічильників. Водозливи водосховищ та контрольні водозливи часто належать до категорії «штучних». Періодичні показники поточних лічильників для різних типів витрат все ще необхідні для підтвердження достовірності залежності між рівнем води та витратою. Гарним джерелом інформації про розробку та підтримку кривої залежності між рівнем води та витратою є «Стандарти аналізу та обробки даних та інформації про поверхневі води з використанням електронних методів [26]:

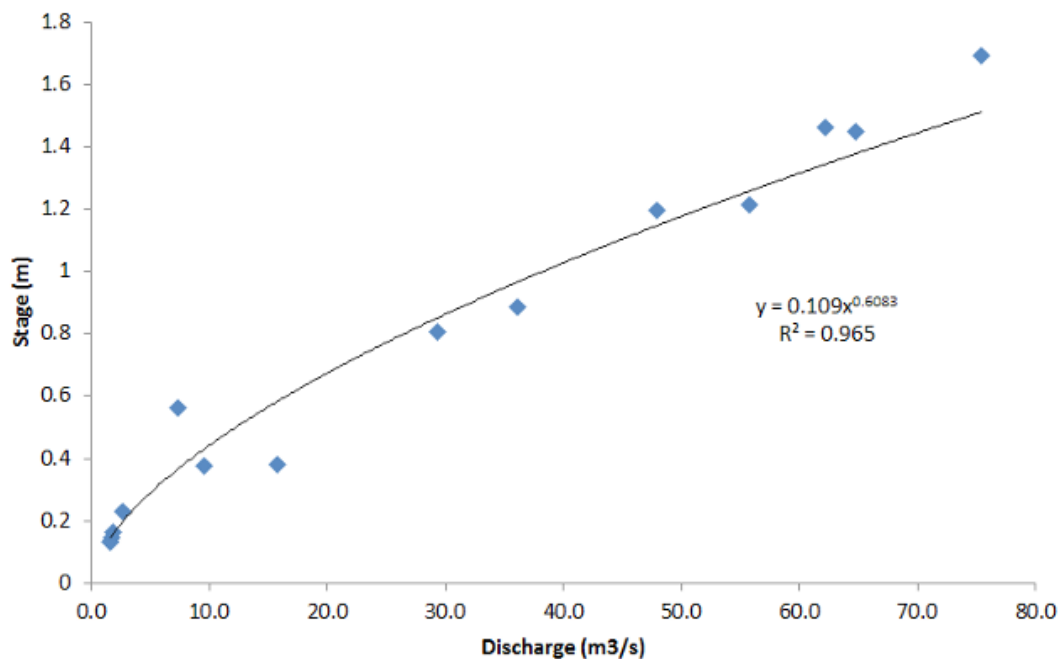


Рис. 3.1 - Приклад кривої залежності витрати від висоти, побудованої на основі даних про висоту та витрату, отриманих на місці протягом року

Після визначення типу та загального розташування станції на основі природних та штучних факторів починається процес вибору місця. Вибір місця зазвичай включає попереднє дослідження в офісі (огляд карт, журналів геодезичних досліджень, історичних записів), а потім відвідування місць, які були визнані найбільш перспективними під час попереднього дослідження [27].

Остаточний вибір місця залежить від типу та якості необхідних даних, запропонованого датчика та супутнього обладнання, що буде розгорнуто, а також логістичних та бюджетних обмежень. Основні аспекти, які необхідно враховувати, включають:

- Технічні аспекти: гідравлічна придатність ділянки
- Логістичні аспекти: доступність об'єкта, комунікація та персонал
- Аспекти безпеки: безпека інструментів, подалі від житлових районів та дитячих майданчиків
- Юридичні аспекти: придбання землі та обряд посвячення
- Фінансові аспекти: включаючи витрати на придбання землі, будівельні роботи, обладнання, обробку даних, а також персонал і навчання

Для встановлення приладу на місцях вимірювання рівня води слід уникати зон високої турбулентності та розташовуватися поблизу стабільних і крутих берегів річок. Контроль рівня води нижче за течією повинен бути стабільним і чутливим, щоб встановити стабільне співвідношення рівня води та витрати, коли значні зміни витрати створюють значні зміни рівня води [28]. Для станцій, що не розташовані на узбережжі, місце встановлення повинно знаходитися поза впливом підпору припливних зон, злиття річок та споруд (наприклад, водосховищ/озер). Показники лічильника рівня води та поточного рівня не обов'язково повинні бути в точному місці, але достатньо близько, щоб не вважалося, що зміни витрати відбулися. Поблизу повинні бути доступні або встановлені репери, щоб забезпечити регулярний огляд розташування водоміра.

Тривалість моніторингу

Частота гідрологічних вимірювань залежить від цілей моніторингу, бажаної точності, мінливості даних (погодинної, щоденної, щотижневої, щомісячної, сезонної) та граничного співвідношення витрат і вигод від підвищення точності. Загалом, системи з високою мінливістю потребуватимуть коротких частот відбору проб. Мінливість може змінюватися протягом року, щоб відобразити зміни сезонності [29]. Сухі, теплі сезони можуть характеризуватися стабільними умовами низького стоку, тоді як дощові сезони можуть характеризуватися піковими витратами, і тому частота відбору проб повинна відображати цю мінливість. Зі збільшенням частоти відбору проб зростають витрати на обладнання для зберігання даних, обробку та людські ресурси. Отже, витрати зростатимуть пропорційно, і необхідно приймати рішення щодо переваг підвищеної точності. Проте, зі зниженням витрат на комп'ютерне зберігання даних та впровадженням систем моніторингу в режимі реального часу, вартість посиленого моніторингу значно зменшилася. Крім того, частота відбору проб може змінюватися зі зміною цілей моніторингу та збільшенням знань про гідрологічну систему.

Частота вимірювань

Для станцій з цифровими самописцями рівня води стандартна частота повинна бути максимум погодинною. Для швидкоплинних систем, що реагують

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на опади, особливо в гірських районах або районах з високою інтенсивністю опадів, може знадобитися частота 15 хвилин. Крім того, там, де річка ретельно керується, рівні можуть змінюватися порівняно швидко в результаті регулювання річки та забору води, що може відбуватися недалеко від річки вище за течією [30].

Для обслуговуваних станцій, обладнаних лише рейковими вимірювальними приладами, протягом сезонів дощів застосовуватимуться погодинні показники протягом цілого дня. Протягом сухого сезону достатньо двох або трьох показників на день; за умови, що у разі несезонних опадів та підйому рівня річки спостереження посилюються та розширюються на повні 24 години. За деяких обставин може бути достатньо одного показника на день.

Необхідна частота вимірювань струмоміра на ділянці скидання рівня залежить, перш за все, від стабільності контрольної ділянки, оскільки це визначатиме, як часто потрібні показники манометра для досягнення заданого рівня точності. Мінімальна кількість показників манометра, необхідна для встановлення належного співвідношення рівень-скид для стабільного, чутливого контролю, становить порядку 10-12 у повному діапазоні витрати. Точний інтервал між показниками манометра неможливо визначити, оскільки необхідність вимірювання може залежати від наявності потоку в певному діапазоні. Нестабільні канали та ті, що постраждали від підпору або гістерезису внаслідок нестаціонарного потоку, вимагатимуть більш постійних і частих вимірювань, ніж стабільні контрольні ділянки. Рекомендована частота запропонована та узагальнена в таблиці 3.3.

Якщо на станції існує більше однієї умови, тоді слід застосовувати умову, яка вимагає найчастішого вимірювання. Наприклад, якщо на будь-якій станції виявлено зміну контролю або якщо поточні показники лічильника свідчать про те, що рейтинг змістився, тоді вимірювання слід посилити, доки новий рейтинг не буде визначено в усьому діапазоні. На ділянках з дуже нестабільними показниками контролю може знадобитися визначити нове співвідношення між рівнем води та витратою для кожного сезону.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3- Рекомендована частота спостережень для вимірювання струму лічильником

Контроль станції(Station control)	Періодичність / Частота(Frequency)	Примітки(Remarks)
Усі станції (крім гідротехнічних споруд) — первинне калібрування	Часті вимірювання (калібрування) для фіксації даних у якомога ширшому діапазоні подій.	10–12 вимірювань слід вважати мінімумом для діапазонів низької, середньої та високої витрати води.
Стабільне природне русло	Щомісяця плюс щонайменше одна подія високої витрати води (паводок/повінь) на рік.	Щомісячне вимірювання може збігатися з плановим завантаженням даних із реєстратора рівня води (DWLR).
Під впливом підпору води	Щодня, якщо джерело підпору невідоме. В інших випадках — щотижня.	Якщо встановлено додатковий комплект водомірних рейок або додатковий AWLR/DWLR, можна оцінити зміни похилу водної поверхні.
Нестабільні русла з мулом, піском або гравієм	У періоди низької витрати води — щодня або частіше, щоб отримати дані для значних паводкових подій.	(Зауваження відсутні)
Нестабільний режим течії з петлеподібною кривою витрат (петля гідрографа)	Щотижня	Передбачається, що швидкість зміни рівнів за записами самописця може бути достатньо точно визначена.
Гідротехнічні споруди — початковий етап	6 відліків за рейкою у повному модульному діапазоні вимірювань для підтвердження калібрування (роботи) споруди; приблизно 6 відліків у немодульному діапазоні.	Включаючи 2 періоди низької витрати води. Межу модульного режиму має бути визначено.
Гідротехнічні споруди — перевірка після	1–2 відліки за рейкою на рік у межах модульного діапазону,	(Зауваження відсутні)

Контроль станції(Station control)	Періодичність / Частота(Frequency)	Примітки(Remarks)
первинного калібрування	3–4 відліки на рік у немодульному діапазоні.	

Інструментарій

Існує кілька поширених методів вимірювання рівня води (рівня), кожен з яких має переваги та недоліки щодо вимірювання, вартості, експлуатації та обслуговування (Таблиця 3.4). Прилади для моніторингу рівня води включають:

- Рейки – ручні вимірювачі рівня води, найчастіше вертикальні рейки. Вони недорогі, прості в установці, інтуїтивно зрозумілі та легкі для розуміння. Вони не забезпечують можливості безперервного запису рівня води.

- Валовий енкадер – включає поплавок, з'єднаний із самописцем, який відстежує зміни рівня води. Прилад зазвичай являє собою поплавок у заспокійливому колодязі. Валові енкадери найкраще використовувати на стабільних руслах річок, де русло не змінюється і мало осадових відкладень. Прилади недорогі та ніколи не потребують відправки виробнику для калібрування. Однак початкові валові енкадери вимагають встановлення заспокійливого колодязя та технічного обслуговування шляхом періодичного промивання системи [31].

- Газовий барботер – трубку занурюють у воду, і газ проштовхують через неї під відомим тиском. Різниця тисків між трубкою Показання, а атмосферний тиск – це глибина води. Рівень води реєструється на реєстраторі даних. Газові барботери найкраще використовувати на відкритих каналах та водосховищах зі стабільними руслами річок, де русло не змінюється, мало осадонакопичення та поблизу немає мостів чи платформ для встановлення радарної системи. Перевагою є те, що встановлення є відносно недорогим. Недоліками є вартість: осушувач потрібно періодично замінювати, і вони не підходять для зміщення русел зі сміттям.

- Занурювальний датчик тиску (Submersible pressure transducer) — подібно до газового барботажного рівнеміра, цей прилад вимірює

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гідростатичний тиск під водою. Різниця між показами датчика тиску та атмосферним тиском відповідає глибині води. Занурювальні датчики тиску відносно прості в монтажі та мають низьку вартість. Недоліками датчиків тиску є їхня чутливість до сміття, високих швидкостей потоку та забруднення води, а також потреба у періодичному заводському калібруванні.

Таблиця 3.4- Загальні характеристики приладів для вимірювання рівня води

Опис характеристики(Description)	Валковий еncoder (Shaft Encoder)	Барботажний датчик(Bubbler)	Датчик тиску(Pressure Transducer)	Ультразвуковий датчик(Ultrasonic)	Радарний датчик(Radar)
Діапазон вимірювання (Range)	Великий	Малий	Середній	Середній	Великий
Точність (Accuracy)	Хороша	Хороша	Хороша	Хороша	Хороша
Ризик втручання / саботажу (Tampering/Sabotage)	Високий	Високий	Середній	Середній	Середній
Заспокійливий колодязь (Stilling Well)	Обов'язковий	Не застосовується	Не застосовується	Бажаний	Не обов'язковий
Монтаж / Встановлення (Installation)	Простий	Складний	Простий	Простий	Простий
Технічне обслуговування (Maintenance)	Високі вимоги	Високі вимоги	Відсутні	Відсутні	Відсутні
Вплив наносів (донових відкладень) (Sediment effect)	Середній	Дуже високий	Не застосовується	Не застосовується	Не застосовується
Вартість (Cost)	Середня	Висока	Низька	Середня	Висока

- Ультразвукові/радарні датчики (Ultrasonic/radar) — ці датчики вимірюють рівень води шляхом надсилання імпульсних ультразвукових або радарних хвиль до поверхні води з подальшим вимірюванням часу повернення відбитого сигналу. Знаючи швидкість звуку, датчик може визначити відстань до поверхні води. Ці датчики не контактують із водою, тому на їхню роботу не впливають прозорість, відбивна здатність, каламутність або колір поверхні. Ультразвукові датчики дешевші та забезпечують діапазон вимірювання понад 10 м (від датчика до рівня води). Радарні датчики дорожчі, але забезпечують діапазон вимірювання до 30 м (від датчика до рівня води) і можуть проникати крізь температурні шари та шари водяної пари, які можуть створювати проблеми для інших методів вимірювання.

Вибір відповідного приладу залежить від призначення станції, наявності існуючої інфраструктури (наприклад, заспокійливого колодязя або мосту), відстані до води, необхідної точності, швидкості осадонакопичення, доступності об'єкта та вартості. На рисунку 3.5 наведено загальну логіку попереднього вибору обладнання для вимірювання рівня води залежно від умов розташування (наприклад, річка, водосховище або канал), наявної інфраструктури та висоти над рівнем води. Загалом, якщо є заспокійливий колодязь або його планується спорудити, розглядаються варіанти використання валового енкодера або ультразвукового датчика рівня. Для об'єктів без заспокійливого колодязя, але з нависаючою конструкцією, такою як дамба або міст, основним варіантом є ультразвуковий або радарний датчик спрямованої вниз дії. Якщо ж готових конструкцій немає, тоді розглядають використання барботажної системи або датчика тиску.

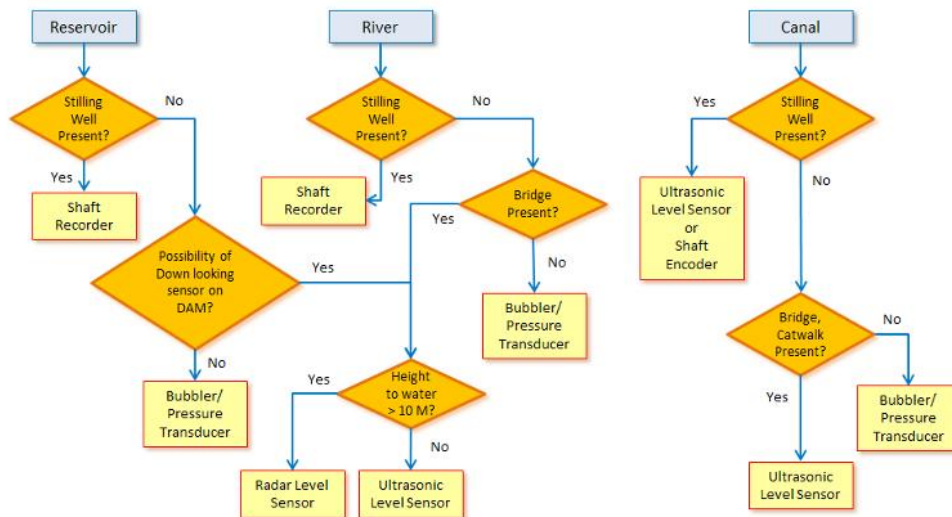


Рис. 3.5 - Схема вибору приладів для вимірювання рівня води на станції

Прилади для вимірювання розряду

Для безперервного вимірювання розряду в каналах використовуються радар, акустичні доплерівські профілометри струмів (ADCP) та керуючі структури. Нижче наведено короткий опис кожного з них.

- Радар – доступні радіолокаційні пристрої, які збирають дані про швидкість поверхні на додаток до рівня води. На основі цих вимірювань та площі поперечного перерізу можна розрахувати витрату. Цей метод оптимально працює в чітко визначених симетричних руслах, таких як канали, струмки та менші річки, де вимірювання швидкості за допомогою радара відображає потік у руслі. Для широких руселів може знадобитися більше одного приладу вздовж поперечного перерізу. Переваги та недоліки однакові, причому радар застосовується для вимірювання рівня поверхневих вод.

- ADCP – ADCP використовують гідролокатор для вимірювання швидкості течії шляхом вимірювання зворотного розсіювання звукових хвиль від частинок у товщі води. Результатом є профіль швидкості поперечного перерізу, який можна підсумувати для обчислення витрати (Рисунок 3.6). ADCP доступні як мобільні, так і стаціонарні пристрої, доступні для покриття річок різних розмірів, включаючи річки, що підлягають пересуванню вбхід (портативний AD велоциметр), річки середньої довжини (понтон [Рисунок 3.6]) та більші річкові системи (прикріплені до човна). Мобільні пристрої ефективні

для збору точкових вимірювань стоку, що необхідно для розробки взаємозв'язків між рівнем води та скидом. Стаціонарні ADCP, які безперервно контролюють стік, оптимально підходять для каналів, естуаріїв, дельт річок та річкових ділянок, що зазнають підпор, для вимірювання течії, де течії змінюються, навіть якщо рівень води залишається незмінним. Все більше ADCP встановлюється у відкритих каналах для безпосереднього вимірювання стоку, що усуває зусилля, пов'язані з отриманням точок між рівнем води та скидом. Основним недоліком ADCP є їхня висока вартість. Оскільки пристрої контактують з водою, ADCP не є підходящим рішенням для річок, де сміття, таке як колоди та рухоме каміння, може зміститися та, можливо, пошкодити цей дорогий датчик.

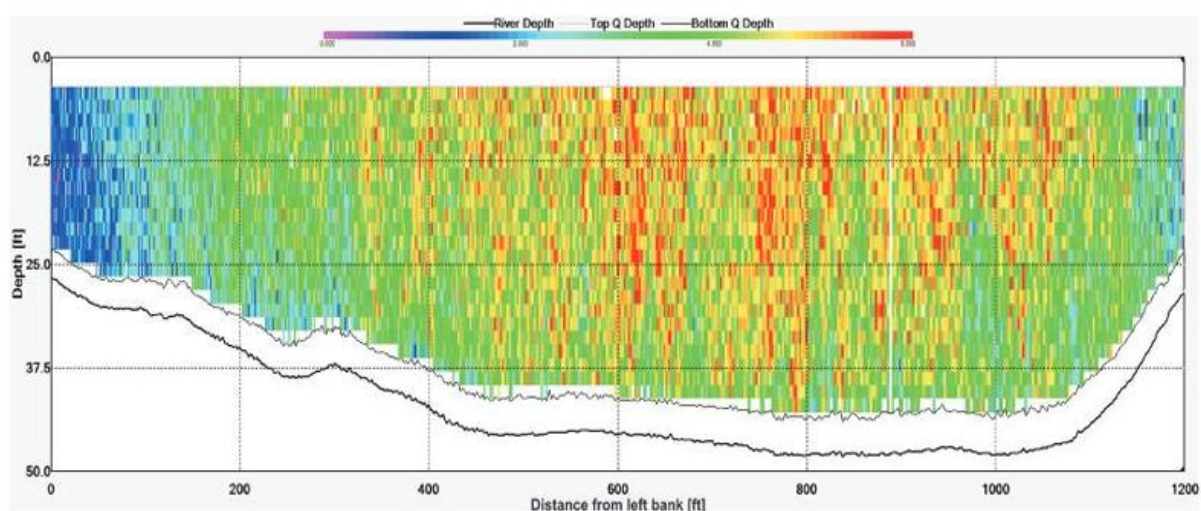


Рис. 3.6- Прилад ADCP під час вимірювання витрати приклад результаті.
Типові дані ADCP, що відображають глибину води та профіль швидкості течії
для поперечного перерізу річки

- Контрольні споруди – Контрольні споруди, такі як калібровані водозливи та лотки, мають фіксовані поперечні перерізи, де залежність між рівнем води та витратою відома та постійна. Поєднання контрольної споруди з реєстратором рівня води забезпечує засоби безперервного запису витрати. Перевага полягає в тому, що для побудови залежності між рівнем води та витратою не потрібні періодичні вимірювання.

Недоліком є те, що встановлення конструкцій потребує будівництва та обслуговування.

Вимірювання розряду

Окрім вимірювання рівня води, описаного вище, вибір місця моніторингу також важливий для отримання надійних вимірювань *витрати води*. Тип приладу, обраного для річок, каналів та затворів водосховищ, показано на рисунку 3.6. Для станції скидання води на рівні водойми, як пристрій для вимірювання рівня водойми, так і місце для вимірювання поточної води повинні розташовуватися в одній місцевості. Однак не завжди доцільно розташовувати місце для вимірювання поточної води безпосередньо поруч із пристроєм для вимірювання рівня водойми, оскільки деякі критерії вибору їхнього місця відрізняються. Слід подбати про те, щоб між місцями зчитування рівня води та витрати води не було припливу або відтоку до річки чи каналу.

Рекомендації щодо вибору місця для вимірювання витрати води

- Загальний напрямок русла водотоку має бути прямолінійним приблизно на 100 метрів вище та нижче від місця встановлення гідрологічного поста.
- Увесь потік води за будь-яких рівнів має проходити через один канал, без обходу ділянки у вигляді підземного стоку.
- Русло не повинно піддаватися розмиву або замуленню та має бути вільним від водної рослинності.
- Береги повинні бути стабільними, достатньо високими для утримання паводкових вод і вільними від чагарників.
- За низької водності мають бути наявні незмінні природні контролі у вигляді виходу корінних порід або іншого стабільного перекату.
- Для високих витрат води має бути наявне звуження русла або поріг/каскад, який не затоплюється за будь-яких рівнів води, щоб забезпечити стабільну залежність між рівнем води та витратою. Якщо придатний природний контроль для низьких рівнів води відсутній, слід розглянути встановлення штучного контрольного спорудження.
- Безпосередньо вище контрольної ділянки має бути доступне місце для розміщення системи збору даних, де ризик пошкодження сміттям, що

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

переноситься водою під час паводків, є мінімальним. Висотна відмітка системи збору даних повинна перевищувати рівень будь-якої повені, імовірної протягом терміну експлуатації станції.

- Гідрологічний пост має бути розташований достатньо далеко вище місця злиття з іншим водотоком або зони впливу припливів, щоб уникнути змінного впливу іншого потоку чи припливних явищ на рівень води в місці вимірювання.

- У межах розумної відстані від поста має бути доступна придатна ділянка для вимірювання витрати води за всіх рівнів. Не обов'язково, щоб вимірювання низьких і високих витрат проводилися в одному й тому самому поперечному перерізі русла.

- Доступ до ділянки має бути зручним для монтажу та експлуатації гідрометричної станції. За потреби повинна бути можливість організації телеметричного або супутникового передавання даних.

- Якщо можливе утворення льоду, повинна зберігатися можливість реєстрації рівня води та вимірювання витрати.

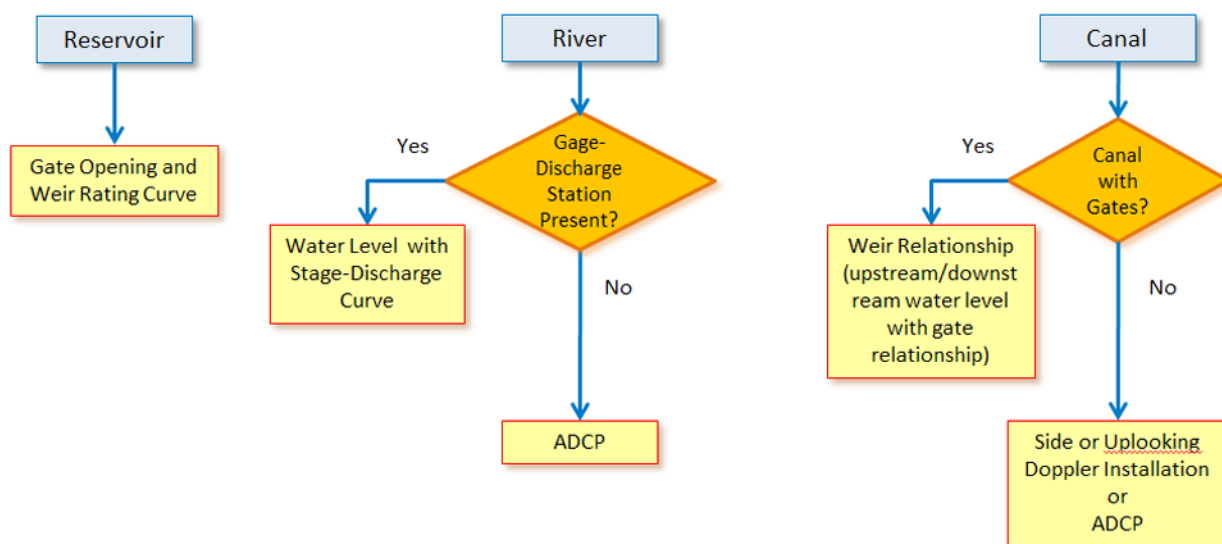


Рис. 3.7 - Схема вибору місця для методів вимірювання стоку Джерело:

Гідрологічний проект

3.3 Оцінка ефективності впровадження системи та перспективи її розвитку

Програмна реалізація серверної частини забезпечує прийом, обробку, зберігання та візуальне представлення даних, що надходять від сенсорних вузлів. Для побудови логіки обробки повідомлень було використано стек технологій на основі Python, зокрема FastAPI — легкий асинхронний фреймворк для розгортання REST API, а також бібліотеку paho-mqtt для інтеграції з MQTT-брокером.

FastAPI забезпечує обробку вхідних HTTP-запитів і водночас підтримує паралельне прослуховування MQTT-повідомлень через окремий асинхронний обробник. Такий підхід дозволив побудувати сервер, що одночасно реагує як на публікації з вузлів (через брокер), так і на запити клієнтів (через API). Бібліотека paho-mqtt використовується для підключення до брокера Mosquitto, підписки на відповідні теми, отримання повідомлень та передачі керуючих команд у відповідні топіки.

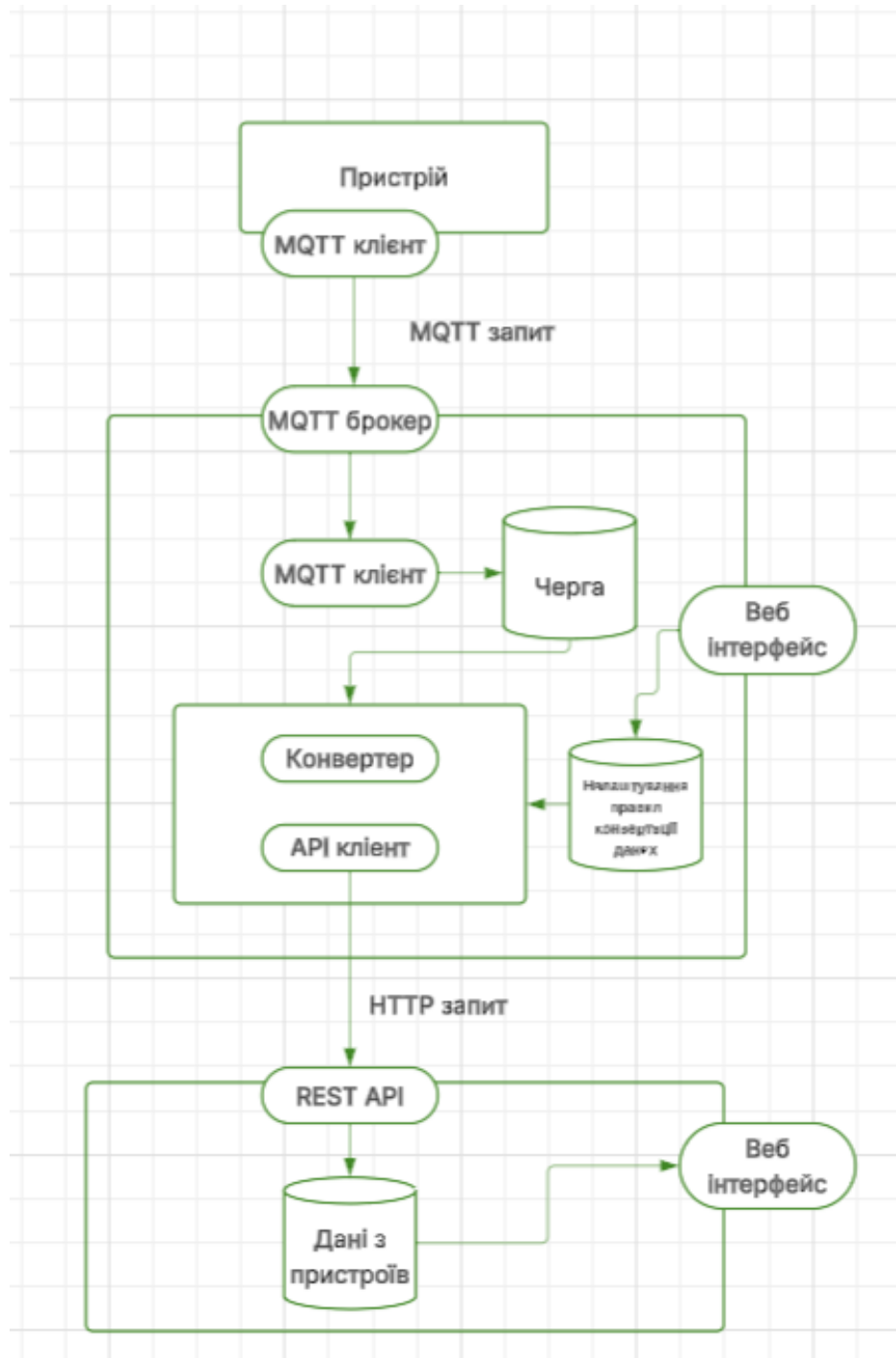


Рис. 3.8 — Схема логіки обробки MQTT-повідомлень на сервері з інтеграцією API та зберіганням даних.

Для зберігання даних реалізовано кілька моделей: тимчасове кешування в оперативній пам'яті, збереження у SQLite або у JSON-файли з часовими мітками. Така структура дозволяє обирати формат залежно від потреб — від легкого тимчасового моніторингу до накопичення історичних записів.

Взаємодія основних компонентів серверної частини представлена на рисунку 3.8, що демонструє типову послідовність обробки даних у системі з MQTT.

На серверній стороні обробка повідомлень побудована на принципах асинхронної маршрутизації подій. Транспортні пакети IoT, отримані через брокер Mosquitto, автоматично перехоплюються підписаним клієнтом (бібліотека `raho-mqtt`), після чого передаються у внутрішню чергу подій. Такий підхід дозволяє реалізувати буферизацію навантаження, розділяючи прийом даних і логіку обробки.

Наступним етапом дані потрапляють до обробника, який виконує парсинг JSON-структури, перевірку ключових полів, валідацію типів і змісту, а також порівняння з критеріями тригерів. У разі виявлення події (наприклад, перевищення температурного порогу) генерується сповіщення або запис у окремий лог. Оброблені записи потрапляють до структури збереження — це може бути SQLite, файлова база або інтеграція з хмарним сервісом.

Паралельно обробник формує REST API-ендпоінти, через які клієнтська частина має змогу запитувати актуальні або архівні дані. Наприклад, через запит `/get/last?node=1&type=temp` клієнт отримує останні показники температури з вузла №1. Завдяки підтримці WebSocket можливо реалізувати трансляцію змін у режимі реального часу — наприклад, для динамічної панелі моніторингу або візуального графіку.

Описана архітектура є гнучкою та розширюваною: легко додати додаткові вузли, типи подій або зовнішні інтерфейси, не порушуючи основну логіку взаємодії. — Ілюстрація наскрізного QoS у маршрутизації MQTT-повідомлень через різні мережеві сегменти [32].

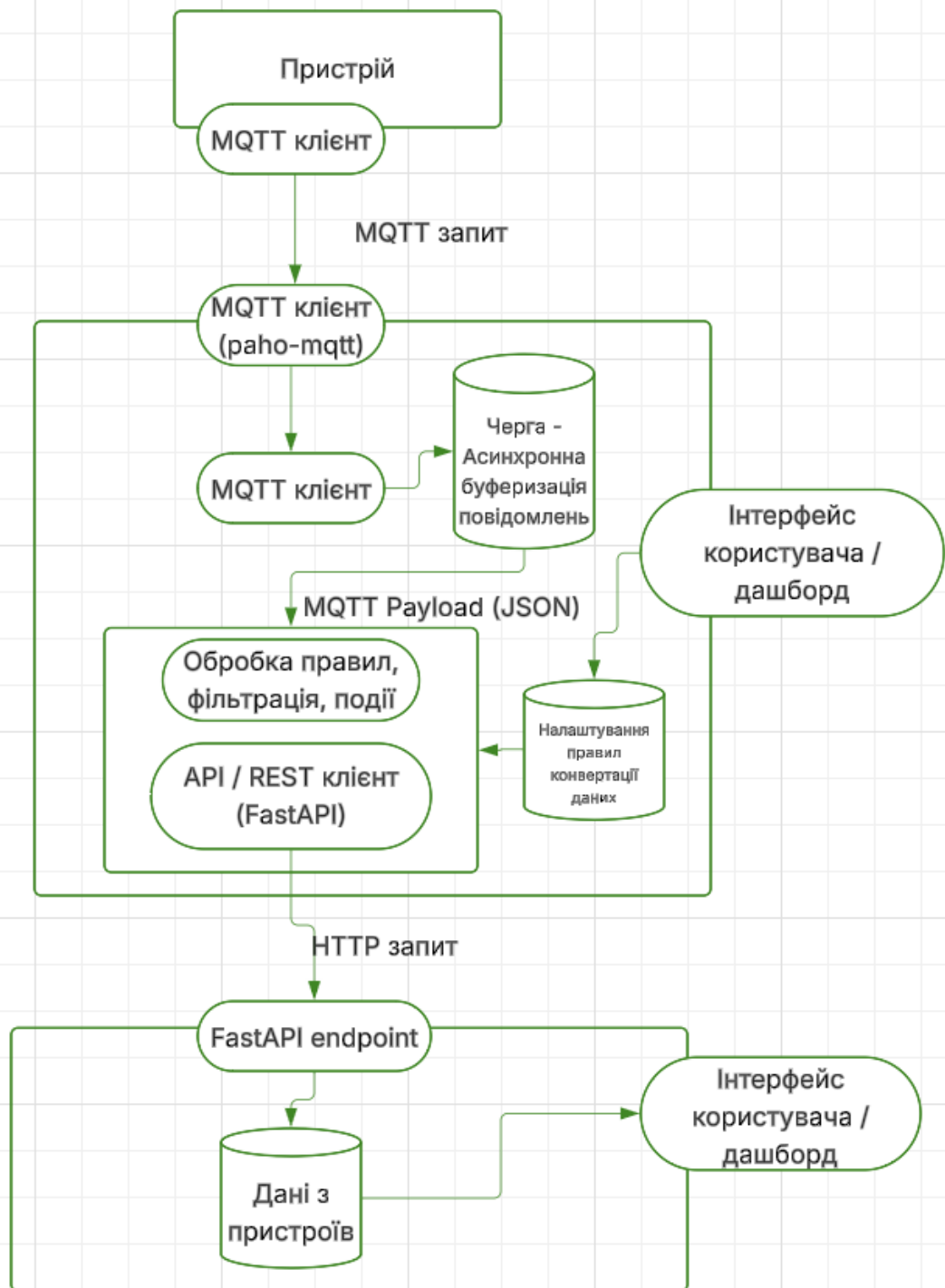


Рис. 3.9— Модель потокової обробки та передачі даних між вузлами, брокером і сервером з візуалізацією

На відміну від базової обробки MQTT-повідомлень, представленої на попередній схемі (Рисунок 3.8), дана модель (Рисунок 3.9) деталізує модульну організацію потоків даних у серверній частині системи, реалізованої за

допомогою стеку Python, зокрема FastAPI і бібліотеки `paho-mqtt`. Центральним елементом виступає абстрактна черга подій, яка приймає вхідні повідомлення від MQTT-брокера Mosquitto, що дозволяє ефективно розділити процес прийому даних і логіку обробки [33].

Обробник (конвертер) працює на основі заздалегідь визначених правил, які налаштовуються через окремий конфігураційний інтерфейс. Це забезпечує гнучкість і масштабованість — наприклад, фільтрація шумів, агрегування значень або генерація тригерів при перевищенні порогів. API/REST-клієнт (FastAPI) передає оброблені дані до серверного API, забезпечуючи їхню подальшу обробку, збереження або інтеграцію з зовнішніми платформами.

Веб-інтерфейс виконує роль точки доступу для користувача, надаючи як історичні дані, так і оновлення в режимі реального часу через REST-запити або WebSocket. Це дозволяє побудувати динамічну панель моніторингу або автоматизовану систему сповіщень. Представлена модель відповідає реалізованій архітектурі системи і є логічним продовженням її серверної частини.

Повноцінне функціонування сенсорної мережі неможливе без відповідної серверної логіки, що відповідає за прийом, обробку, трансформацію й візуалізацію інформації, що надходить від вузлів. З цією метою далі було реалізовано серверну частину, що інтегрує MQTT-брокер, проміжний сервіс конвертації даних і API-інтерфейс на базі Thingspeak. Такий підхід дозволяє гнучко маршрутизувати потоки даних, забезпечувати їх збереження у структурованому форматі та формувати канал взаємодії з клієнтським інтерфейсом. Нижче наведено реалізацію ключових етапів цієї логіки з демонстрацією архітектури сервісу, принципів обробки повідомлень і прикладів інтеграції з веб-інтерфейсом [34].

Для реалізації повноцінної інтеграції даних сенсорної мережі зі сторонніми API було розроблено механізм конвертації MQTT-повідомлень у формат, що відповідає структурі запитів Thingspeak. Вхідні повідомлення надходять у вигляді JSON-об'єктів із заданою структурою:

test/topic

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```
{
  "temperature": 50,
  "humidity": 50,
  "x_coordinate": 0.1224,
  "y_coordinate": 0.12312312,
  "info": "status changed",
  "time": "2018-05-19 13:36:30"
}
```

Відповідно до цієї структури формується запит до Thingspeak API[35]:

POST https://host:port/channels/1/batch_update.json

```
{
  "api_key": "1BGCSHUNHE5QLE89",
  "updates": [{
    "field1": 50,
    "field2": 50,
    "lat": 0.1224,
    "long": 0.12312312,
    "status": "status changed",
    "created_at": "2018-05-19 13:36:30"
  }]
}
```

Відповідність між темою MQTT та каналом Thingspeak, а також відповідність між внутрішніми JSON-ключами та полями API встановлюється за допомогою конфігураційного файлу. Приклад правила виглядає так [36]:

```
{
  "topic": "test/topic",
  "channel_id": "1",
  "api_key": "1BGCSHUNHE5QLE89",
  "event_field1": "temperature",
  "event_field2": "humidity",
  "event_lat": "x_coordinate",
  "event_long": "y_coordinate",
  "event_status": "info",
  "event_created_at": "time"
}
```

Цей підхід забезпечує гнучку трансформацію даних без змін у коді, а також дозволяє змінювати схему повідомлень відповідно до потреб конкретного застосування [37].

Для зручного налаштування параметрів взаємодії між MQTT-повідомленнями та зовнішніми API було реалізовано веб-інтерфейс адміністратора. Через нього користувач має змогу задати тему MQTT, канал Thingspeak, API-ключ (Рисунок 3.10), а також зіставити внутрішні поля JSON із відповідними полями запиту.

Рис. 3.10 — Візуалізація правил для конвертації MQTT-повідомлень у формат Thingspeak

Наприклад, значення `temperature`, що надходить у структурі `data.weather_data.temperature`, може бути призначене для передачі у поле `field1` Thingspeak. Така конфігурація описується у вигляді JSON-об'єкта зі змінною кількістю параметрів і зберігається у внутрішній базі даних системи. Застосування нових конфігурацій здійснюється без повного перезапуску всієї системи — достатньо ініціювати оновлення з панелі керування [38].

Завдяки цьому адміністратор має змогу динамічно змінювати структуру обробки повідомлень без модифікації програмного коду (Рисунок 3.11). Це особливо важливо у розподілених сенсорних системах, де формат повідомлень

або тип сенсорів може змінюватися залежно від умов застосування. Для кожної теми конфігурація дозволяє гнучко призначити, які саме поля будуть витягуватись із повідомлення, і в які частини API-запиту вони мають бути вставлені. Це значно пришвидшує адаптацію системи до нових джерел даних.

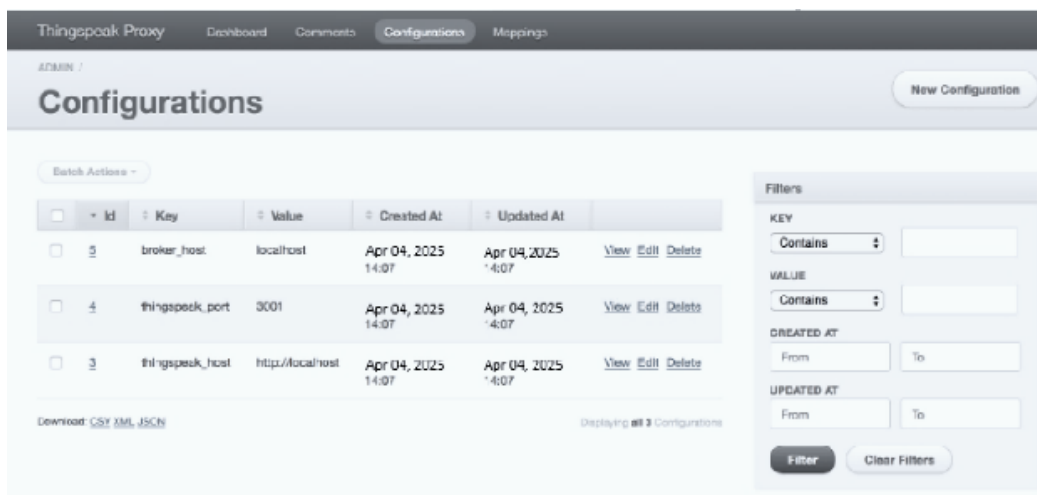


Рис. 3.11 — Приклад конфігурації параметрів взаємодії між компонентами системи

Реалізована система також передбачає можливість логування змін конфігурацій, що дозволяє контролювати зміни на рівні адміністративного доступу. Загалом такий підхід забезпечує адаптивність, безперервність та контрольованість у системі обробки сенсорних повідомлень з можливістю масштабування без зупинки роботи [39].

На рівні серверної логіки реалізовано механізм трансформації вхідних MQTT-повідомлень до формату Thingspeak API. Для цього було створено модуль конвертації, який працює з попередньо заданими правилами. Наприклад, повідомлення у темі test/topic у форматі:

```
{
  "temperature": 50,
  "humidity": 50,
  "x_coordinate": 0.1224,
  "y_coordinate": 0.12312312,
  "info": "status changed",
  "time": "2025-04-04 13:36:30"
}
```

```

}
Далі перетворюється на пакетний HTTP-запит:
POST https://host:port/channels/1/batch_update.json
{
  "api_key": "1BGCSHUNHE5QLE89",
  "updates": [{
    "field1": 50,
    "field2": 50,
    "lat": 0.1224,
    "long": 0.12312312,
    "status": "status changed",
    "created_at": "2025-04-04 13:36:30"
  }]
}

```

Конфігураційний JSON об’єкт для такої трансформації має вигляд:

```

"topic": "test/topic",
"channel_id": "1",
"api_key": "1BGCSHUNHE5QLE89",
"event_field1": "temperature",
"event_field2": "humidity",
"event_lat": "x_coordinate",
"event_long": "y_coordinate",
"event_status": "info",
"event_created_at": "time"

```

Такий підхід дозволяє обробляти будь-яку структуру вхідних даних, якщо вона описана в конфігураційному файлі. Конвертер (Рисунок 3.12)автоматично виконує пошук відповідної конфігурації за MQTT-темою, витягує дані згідно з ієрархічними шляхами і формує запит до Thingspeak [40].



Рис. 3.12 — Приклад конвертації MQTT-повідомлення у формат Thingspeak

Для тестування та реального застосування брокер MQTT (Mosquitto) було розгорнуто у середовищі Docker. Це спрощує налаштування й дозволяє швидко масштабувати середовище. Команда запуску має вигляд:

```
docker run -it -p 1883:1883 -p 9001:9001 -v \
mosquitto.conf:/mosquitto/config/mosquitto.conf eclipse-mosquitto
```

Цей брокер приймає публікації від пристроїв та пересилає їх серверному клієнту, реалізованому на Python через бібліотеку paho-mqtt. (Рисунок 3.13)

```
root@thingspeak-test:~# mosquitto_sub -v -t 'test/topic'
test/topic {"field1":0.7221076820462722,"field2":0.4625560216747017,"field3":0.6416255913130288,"created_at":"2025-04-03T11:48:03Z"}
test/topic {"field1":0.7221076820462722,"field2":0.4625560216747017,"field3":0.6416255913130288,"created_at":"2025-04-03T11:48:03Z"}
test/topic {"field1":0.7221076820462722,"field2":0.4625560216747017,"field3":0.6416255913130288,"created_at":"2025-04-03T11:48:03Z"}
test/topic {"field1":0.7221076820462722,"field2":0.4625560216747017,"field3":0.6416255913130288,"created_at":"2025-04-03T11:48:03Z"}

admin in ~$
$ mosquitto_pub -h 159.89.106.235 -t 'test/topic' -m '{"field1":0.7221076820462722,"field2":0.4625560216747017,"field3":0.6416255913130288,"created_at":"2025-04-03T11:48:03Z"}'

admin in ~$
$ mosquitto_pub -h 159.89.106.235 -t 'test/topic' -m '{"field1":0.7221076820462722,"field2":0.4625560216747017,"field3":0.6416255913130288,"created_at":"2025-04-03T11:48:03Z"}'
```

Рис. 3.13 — Відправка MQTT-повідомлень на сервер Mosquitto

У підсумку, серверна частина системи успішно поєднує асинхронну обробку MQTT-повідомлень, обробку правил, збереження даних і інтерактивну візуалізацію. Вибір FastAPI як основи REST-архітектури дозволив досягти високої швидкодії та масштабованості, а реалізація черги подій гарантує надійність обробки в умовах навантаження. Представлена архітектура забезпечує гнучкість налаштувань і сумісність із сучасними платформами візуалізації. Наступним кроком є оцінка ефективності, перевірка відмовостійкості й визначення продуктивності системи в умовах реального навантаження.

Огляд моніторингу якості води в контексті сталого управління водними ресурсами на основі тематичних досліджень Екологічну якість поверхневих вод можна виразити з точки зору біотичних та абіотичних параметрів. Завдяки постійному моніторингу стану навколишнього середовища можна отримати інформацію щодо витрат за цими параметрами. Реальна проблема виникає через значні різниці між існуючими показниками якості та референтними значеннями, визначеними для цих показників. Ці екологічні проблеми можна пояснити, враховуючи антропогенний фактор, оскільки всі види соціальної чи економічної діяльності мають сильний вплив на водні ресурси. Виправлення цієї ситуації

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

може бути досягнуто шляхом ефективного аналізу політики в річкових водозбірних басейнах, зосереджуючись на отриманих даних шляхом інтенсифікації моніторингової діяльності, щоб отримати достатні знання щодо обмежень, встановлених законодавством, та показників якості навколишнього середовища та соціально-економічної діяльності в регіоні. Більше інформації про аналіз політики та визначення референтних значень для сталого розвитку можна знайти у звіті проекту "The Aquatic Outlook", який можна розглядати як наукову основу та політичний документ майбутніх планів управління водними ресурсами. Для захисту природних стічних вод від забруднюючих речовин, що скидаються очисними спорудами, їх ефективність слід підвищити шляхом використання передових технологій очищення та/або шляхом використання установок попереднього очищення на підприємствах, що скидають стічні води в міську каналізаційну систему. Встановлення локальної системи моніторингу показників якості стічних вод на очисних спорудах зменшує ризик випадкових скидів забруднюючих речовин у річки. Усі вищезазначені рекомендації передбачають як інвестиційні, так і експлуатаційні витрати, які можна зменшити за допомогою ефективних технологічних рішень відповідно до реальних екологічних вимог, визначених системою моніторингу в режимі реального часу, впровадженою в рамках Інтегрованої технології моніторингу навколишнього середовища. Якщо реальна тенденція розвитку систем моніторингу навколишнього середовища базується на технології дистанційного зондування, то розробка та впровадження таких експертних систем моніторингу води може стати викликом як для гідрологів, так і для екологів через унікальну перевагу, пов'язану з широким спектром показників якості води, які можна виміряти. Згідно з європейським законодавством, управління водними ресурсами повинно забезпечувати водопостачання сталим способом, що включає також заходи профілактики та контролю. Дуже часто ці заходи є неефективними через нездатність ідентифікувати забруднювачі води та джерела забруднення. У цій роботі розглядаються аргументи на користь розробки та впровадження експертної системи моніторингу у контексті кризи водних ресурсів, зумовленої негативним впливом антропогенної діяльності. Для розробки експертної системи

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

моніторингу поверхневих вод слід враховувати деякі аспекти, такі як: структура системи (кількість, тип та розташування гідрометричних станцій), кількість та тип вимірюваних показників, перетворювачі та датчики, що використовуються для вимірювань, частота відбору проб та обробка даних, включаючи деякі технічні та експлуатаційні питання. Компоненти експертної системи структуровані в кілька модулів (апаратних та програмних), серед яких найважливішу роль відіграє програмне забезпечення для моделювання процесів (включаючи: діагностику, прогнозування та запобігання). У рамках розробленої експертної системи програмний модуль для моделювання потоків, якості води та зміни параметрів якості води в естуаріях, річках та каналах базується на професійному інженерному програмному пакеті. Для ілюстрації найважливіших аспектів, які слід враховувати під час розробки та впровадження експертної системи моніторингу поверхневих вод, буде розглянуто тематичне дослідження міської території муніципалітету Ясси, вздовж річки. Ця розроблена інноваційна система моніторингу стосується обладнання для онлайн-моніторингу, що включає експертну систему для обробки значень основних показників якості води в режимі реального часу для прийняття рішень щодо належного управління водними ресурсами. Крім того, в рамках цього дослідження увага була зосереджена на розсіюванні хімічних забруднювачів та еволюції показників якості води за допомогою математичних моделей з програмного пакету в контексті сталого управління водними ресурсами. На основі експериментальних кадастрових даних, що стосуються поперечних перерізів, розташованих у різних точках моніторингу, мережу річки від входу до виходу було змодельовано за допомогою програмного пакету. Для валідації моделей у досліджуваній області були включені інші аналогічні результати, отримані попередньою версією програмного забезпечення. На основі значень вищезазначених показників якості поверхневих вод можна досягти кращого управління водними ресурсами. Наприклад, за винятком екстрених заходів, що передбачаються у разі аварійного забруднення, можна досягти екологічного стану водних ресурсів. Відповідно до класів якості, водні ресурси можна використовувати найдоцільнішим чином, тобто для промислового, сільськогосподарського (зрошення), туристичних цілей

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(спорт, відпочинок та розваги) та найважливішої мети: приготування питної води. Розробка експертної системи моніторингу видається корисним інструментом з кількома функціями, такими як збір даних, доступ та представлення даних з бази даних, включаючи гідрологічні, метеорологічні та показники якості води, разом з контролем, класифікацією, інтерпретацією та прогнозуванням майбутніх змін якості річкової води.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської роботи було спроектовано та розроблено інформаційну систему моніторингу забруднення водних об'єктів, яка призначена для автоматизації процесів збору, аналізу, обробки та візуалізації екологічних даних. Основною метою роботи було створення сучасної інформаційної системи, що дозволяє здійснювати контроль стану поверхневих вод, оперативно виявляти рівень забруднення та забезпечувати підтримку прийняття рішень щодо охорони водних ресурсів. Використання сучасних інформаційних технологій та сенсорних мереж дозволило створити систему, здатну підвищити ефективність екологічного моніторингу та зменшити вплив людського фактору під час обробки даних.

У роботі було проведено аналіз теоретичних основ гідрології, процесів кругообігу води та сучасного стану розвитку сенсорних мереж, що використовуються для екологічного моніторингу. Дослідження показало, що автоматизовані інформаційні системи є важливим інструментом забезпечення екологічної безпеки та ефективного контролю за якістю водних ресурсів. Також було визначено основні вимоги до систем моніторингу водних об'єктів, серед яких важливе місце займають точність збору даних, надійність передачі інформації, масштабованість та оперативність реагування на зміни показників забруднення.

Під час виконання роботи було досліджено методи та інструменти побудови мереж моніторингу поверхневих вод. Особливу увагу приділено структурі інформаційних потоків у сенсорній мережі, принципам передачі даних та взаємодії між окремими компонентами системи. У результаті було сформовано архітектуру інформаційної системи, яка забезпечує централізований збір та аналіз екологічної інформації. Розроблена система дозволяє отримувати дані від сенсорів у режимі реального часу, здійснювати їх обробку та формувати звіти щодо стану водних ресурсів.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У процесі реалізації інформаційної системи було обрано сучасні програмні засоби та інструменти розробки, що забезпечують стабільність роботи та можливість подальшого розширення функціональності. Розроблена система моніторингу поверхневих вод забезпечує зручний інтерфейс для користувачів, можливість перегляду показників забруднення, аналізу динаміки змін та візуалізації результатів моніторингу. Це дозволяє оперативно реагувати на критичні зміни стану водних об'єктів і підвищує ефективність екологічного контролю.

Проведена оцінка ефективності впровадження системи підтвердила доцільність використання інформаційних технологій у сфері екологічного моніторингу. Автоматизація процесів збору та аналізу даних дозволяє зменшити часові витрати, підвищити точність отриманої інформації та забезпечити своєчасне виявлення джерел забруднення. Крім того, система може бути інтегрована з іншими екологічними платформами та геоінформаційними системами, що значно розширює можливості її практичного застосування.

Отже, поставлені у роботі завдання були успішно виконані, а розроблена інформаційна система моніторингу забруднення водних об'єктів відповідає сучасним вимогам до екологічних інформаційних систем. Практична цінність роботи полягає у можливості використання створеної системи для контролю стану водних ресурсів, підтримки екологічної безпеки та вдосконалення процесів екологічного моніторингу. У перспективі система може бути доповнена модулями прогнозування екологічного стану, інтеграцією зі штучним інтелектом та підтримкою мобільних платформ для підвищення ефективності її використання.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Sommerville, I. (2021). *Software Engineering*. Pearson.
2. Pressman, R. S., & Maxim, B. R. (2020). *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill.
3. Bass, L., Weber, I., & Zhu, L. (2022). *DevOps: A Software Architect's Perspective*. Addison-Wesley.
4. Richardson, C. (2019). *Microservices Patterns*. Manning Publications.
5. Fowler, M. (2019). *Refactoring: Improving the Design of Existing Code*. Addison-Wesley.
6. Alpaydin, E. (2021). *Introduction to Machine Learning*. MIT Press.
7. Witten, I. H., Frank, E., Hall, M. A., & Pal, C. J. (2021). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*. Morgan Kaufmann.
8. Montgomery, D. C. (2020). *Introduction to Statistical Quality Control*. Wiley.
9. Bishop, C. M. (2023). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
10. Tanenbaum, A. S., & Bos, H. (2023). *Modern Operating Systems*. Pearson.
11. WHO. (2022). *Guidelines for Drinking-water Quality*. <https://www.who.int/>
12. UNEP. (2023). *Global Environment Outlook*. <https://www.unep.org/>
13. FAO. Water Quality and Pollution Monitoring Reports. (2024). <https://www.fao.org/>
14. US EPA. Water Quality Standards Handbook. (2025). <https://www.epa.gov/wqs-tech>
15. European Environment Agency. Water Quality in Europe. (2024). <https://www.eea.europa.eu/>
16. ISO 14001:2015 Environmental Management Systems — Requirements.
17. ISO 5667-1:2006 Water Quality — Sampling — Part 1: Guidance.

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. ISO 7027:2016 Water Quality — Determination of Turbidity.
19. ISO 6107 Water Quality — Vocabulary.
20. ISO/IEC 25010:2011 Software Product Quality Requirements and Evaluation.
21. Microsoft Learn. Azure IoT Hub Documentation. (2025).
<https://learn.microsoft.com/azure/iot-hub/>
22. Microsoft Learn. .NET ASP.NET Core Documentation. (2025).
<https://learn.microsoft.com/aspnet/core/>
23. Microsoft Learn. Entity Framework Core Documentation. (2025).
<https://learn.microsoft.com/ef/core/>
24. Oracle. Java Documentation. (2025). <https://docs.oracle.com/>
25. Python Software Foundation. Python Documentation. (2025).
<https://docs.python.org/>
26. Docker Documentation. (2025). <https://docs.docker.com/>
27. Kubernetes Documentation. (2025). <https://kubernetes.io/docs/>
28. Prometheus Documentation. (2025). <https://prometheus.io/docs/>
29. Grafana Labs Documentation. (2025). <https://grafana.com/docs/>
30. Zabbix Documentation. (2025).
<https://www.zabbix.com/documentation/current/en/manual>
31. Apache Kafka Documentation. (2025).
<https://kafka.apache.org/documentation/>
32. Apache Spark Documentation. (2025).
<https://spark.apache.org/docs/latest/>
33. Elasticsearch Documentation. (2025). <https://www.elastic.co/guide/>
34. RabbitMQ Documentation. (2025).
<https://www.rabbitmq.com/documentation.html>
35. InfluxDB Documentation. (2025). <https://docs.influxdata.com/>
36. NASA Earthdata. Water Quality Remote Sensing Data. (2024).
<https://earthdata.nasa.gov/>
37. Copernicus Programme. Water Monitoring Services. (2024).
<https://www.copernicus.eu/>

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

38. NOAA Water Quality Monitoring Data. (2024). <https://www.noaa.gov/>

39. World Bank Water Resources Management Reports. (2023).
<https://www.worldbank.org/>

40. Global Water Partnership Technical Reports. (2023).
<https://www.gwp.org/>

					КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Лістинг коду MQTT-повідомлення та конфігураційного файлу

А.1 Структура вхідного MQTT-повідомлення від сенсорного вузла

```
test/topic
{
  "temperature": 50,
  "humidity": 50,
  "x_coordinate": 0.1224,
  "y_coordinate": 0.12312312,
  "info": "status changed",
  "time": "2025-04-04 13:36:30"
}
```

А.2 Сформований пакетний HTTP-запит до Thingspeak API

```
POST https://host:port/channels/1/batch_update.json
{
  "api_key": "1BGCSHUNHE5QLE89",
  "updates": [{
    "field1": 50,
    "field2": 50,
    "lat": 0.1224,
    "long": 0.12312312,
    "status": "status changed",
    "created_at": "2025-04-04 13:36:30"
  }]
}
```

ДОДАТОК Б

Лістинг конфігураційного файлу та команди розгортання

Б.1 Конфігураційний JSON-об'єкт правила конвертації
MQTT→Thingspeak

```
{  
  "topic": "test/topic",  
  "channel_id": "1",  
  "api_key": "1BGCSHUNHE5QLE89",  
  "event_field1": "temperature",  
  "event_field2": "humidity",  
  "event_lat": "x_coordinate",  
  "event_long": "y_coordinate",  
  "event_status": "info",  
  "event_created_at": "time"  
}
```

Б.2 Команда розгортання MQTT-брокера Mosquitto у середовищі Docker

```
docker run -it -p 1883:1883 -p 9001:9001 \  
-v mosquitto.conf:/mosquitto/config/mosquitto.conf \  
eclipse-mosquitto
```

ДОДАТОК Б

Лістинг програмного коду серверної частини (app.py)

```
from fastapi import FastAPI, WebSocket, WebSocketDisconnect, Request,
HTTPException

from fastapi.staticfiles import StaticFiles
from fastapi.templating import Jinja2Templates
from fastapi.responses import JSONResponse
from pydantic import BaseModel
from typing import List, Optional
import json
import asyncio
import paho.mqtt.client as mqtt
from datetime import datetime
import sqlite3
import threading
import logging

# -----
# Налаштування
# -----

MQTT_BROKER = "localhost"
MQTT_PORT = 1883
MQTT_TOPIC = "water/sensors/#"
DB_PATH = "sensor_data.db"

logging.basicConfig(level=logging.INFO)
logger = logging.getLogger(__name__)

# -----
# Ініціалізація FastAPI
# -----

app = FastAPI(title="Water Monitoring System")
app.mount("/static", StaticFiles(directory="static"), name="static")
templates = Jinja2Templates(directory="templates")

# -----
# База даних SQLite
# -----

def init_db():
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    conn.execute("""
        CREATE TABLE IF NOT EXISTS readings (
```

```

        id INTEGER PRIMARY KEY AUTOINCREMENT,
        sensor_id TEXT NOT NULL,
        temperature REAL,
        humidity REAL,
        ph REAL,
        turbidity REAL,
        x_coordinate REAL,
        y_coordinate REAL,
        info TEXT,
        timestamp TEXT
    )
"""
conn.commit()
conn.close()

init_db()

def save_reading(data: dict):
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    conn.execute("""
        INSERT INTO readings
            (sensor_id, temperature, humidity, ph, turbidity,
             x_coordinate, y_coordinate, info, timestamp)
        VALUES (?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?, ?)
    """, (
        data.get("sensor_id", "unknown"),
        data.get("temperature"),
        data.get("humidity"),
        data.get("ph"),
        data.get("turbidity"),
        data.get("x_coordinate"),
        data.get("y_coordinate"),
        data.get("info", ""),
        data.get("time", datetime.utcnow().isoformat()),
    ))
    conn.commit()
    conn.close()

def get_recent_readings(limit: int = 50) -> list:
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    conn.row_factory = sqlite3.Row
    rows = conn.execute(
        "SELECT * FROM readings ORDER BY id DESC LIMIT ?", (limit,)
    ).fetchall()
    conn.close()
    return [dict(r) for r in rows]

```

```

# -----
# Менеджер WebSocket-з'єднань
# -----

class ConnectionManager:
    def __init__(self):
        self.active: List[WebSocket] = []

    async def connect(self, ws: WebSocket):
        await ws.accept()
        self.active.append(ws)
        logger.info("WebSocket підключено. Активних: %d", len(self.active))

    def disconnect(self, ws: WebSocket):
        self.active.remove(ws)
        logger.info("WebSocket відключено. Активних: %d", len(self.active))

    async def broadcast(self, message: str):
        disconnected = []
        for ws in self.active:
            try:
                await ws.send_text(message)
            except Exception:
                disconnected.append(ws)
        for ws in disconnected:
            self.active.remove(ws)

manager = ConnectionManager()

# -----
# MQTT-клієнт
# -----

def on_mqtt_message(client, userdata, msg):
    try:
        payload = json.loads(msg.payload.decode())
        payload["sensor_id"] = msg.topic.split("/")[-1]
        save_reading(payload)
        asyncio.run_coroutine_threadsafe(
            manager.broadcast(json.dumps(payload)),
            userdata["loop"],
        )
        logger.info("MQTT отримано з теми %s", msg.topic)
    except Exception as exc:
        logger.error("Помилка обробки MQTT: %s", exc)

```

```

def start_mqtt(loop: asyncio.AbstractEventLoop):
    client = mqtt.Client()
    client.user_data_set({"loop": loop})
    client.on_message = on_mqtt_message
    try:
        client.connect(MQTT_BROKER, MQTT_PORT, keepalive=60)
        client.subscribe(MQTT_TOPIC)
        client.loop_forever()
    except Exception as exc:
        logger.warning("MQTT недоступний: %s", exc)

@app.on_event("startup")
async def startup_event():
    loop = asyncio.get_event_loop()
    thread = threading.Thread(target=start_mqtt, args=(loop,), daemon=True)
    thread.start()
    logger.info("MQTT-клієнт запущено у фоновому потоці")

# -----
# Pydantic-схеми
# -----
class SensorReading(BaseModel):
    sensor_id: str
    temperature: Optional[float] = None
    humidity: Optional[float] = None
    ph: Optional[float] = None
    turbidity: Optional[float] = None
    x_coordinate: Optional[float] = None
    y_coordinate: Optional[float] = None
    info: Optional[str] = ""
    time: Optional[str] = None

# -----
# HTTP-ендпоінти
# -----
@app.get("/")
async def read_root(request: Request):
    return templates.TemplateResponse("index.html", {"request": request})

@app.get("/api/readings")
async def api_get_readings(limit: int = 50):
    return JSONResponse(content=get_recent_readings(limit))

```

```

@app.post("/api/readings")
async def api_post_reading(reading: SensorReading):
    data = reading.dict()
    if not data.get("time"):
        data["time"] = datetime.utcnow().isoformat()
    save_reading(data)
    await manager.broadcast(json.dumps(data))
    return {"status": "ok", "saved": data}


@app.get("/api/sensors")
async def api_get_sensors():
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    conn.row_factory = sqlite3.Row
    rows = conn.execute(
        "SELECT DISTINCT sensor_id FROM readings"
    ).fetchall()
    conn.close()
    return {"sensors": [r["sensor_id"] for r in rows]}


@app.get("/api/statistics")
async def api_get_statistics():
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    conn.row_factory = sqlite3.Row
    row = conn.execute("""
        SELECT
            COUNT(*)           AS total,
            AVG(temperature)    AS avg_temp,
            AVG(humidity)       AS avg_humidity,
            AVG(ph)             AS avg_ph,
            AVG(turbidity)      AS avg_turbidity,
            MIN(timestamp)      AS first_reading,
            MAX(timestamp)      AS last_reading
        FROM readings
    """).fetchone()
    conn.close()
    return dict(row)


@app.delete("/api/readings")
async def api_clear_readings():
    conn = sqlite3.connect(DB_PATH)
    conn.execute("DELETE FROM readings")
    conn.commit()
    conn.close()
    return {"status": "cleared"}

```

```

# -----
# WebSocket-ендпоінт
# -----
@app.websocket("/ws")
async def websocket_endpoint(websocket: WebSocket):
    await manager.connect(websocket)
    try:
        recent = get_recent_readings(10)
        await websocket.send_text(json.dumps({
            "type": "history",
            "data": recent,
        }))
    while True:
        raw = await websocket.receive_text()
        try:
            msg = json.loads(raw)
            if msg.get("type") == "ping":
                await websocket.send_text(json.dumps({"type": "pong"}))
            elif msg.get("type") == "reading":
                payload = msg.get("data", {})
                payload.setdefault("time", datetime.utcnow().isoformat())
                save_reading(payload)
                await manager.broadcast(json.dumps(payload))
        except json.JSONDecodeError:
            await websocket.send_text(json.dumps({
                "type": "error",
                "message": "Невалідний JSON",
            }))
    except WebSocketDisconnect:
        manager.disconnect(websocket)

```

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи – «Розроблення інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів»

Обсяг пояснювальної записки в аркушах – 75

Перелік креслень графічної частини:

КРБ.ІСТ – 10.00.00.000 С1 – Функціональна схема інформаційної системи моніторингу забруднення водних об'єктів (1 аркуш)

КРБ.ІСТ – 10.00.00.001 С1 – Архітектура сенсорної мережі системи моніторингу водних об'єктів (1 аркуш)

КРБ.ІСТ – 10.00.00.002 С1 – Схема бази даних інформаційної системи моніторингу (1 аркуш)

КРБ.ІСТ – 10.00.00.003 С1 – Вебзастосунок моніторингу водних об'єктів. Головне вікно (1 аркуш)

КРБ.ІСТ – 10.00.00.004 С1 – Вебзастосунок моніторингу водних об'єктів. Відображення результатів моніторингу та аналітики (1 аркуш)

Дата закінчення дипломної роботи «07» червня 2026р.

Підпис студента _____