

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій**

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Сергій КРАВЧУК
«__» _____ 2024 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інженерія та програмування
інфокомунікацій»
зі спеціальності 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»
на тему: «Модель сенсорної мережі комунального господарства»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЦК-32мп
Романченко Дмитро Олександрович _____

Керівник:

Доцент кафедри ТК НН ІТС, к.т.н., доцент
Явіся Валерій Сергійович _____

Рецензент:

В.о.завідувача кафедри ММЗІ НН ФТІ
КПІ ім. Ігоря Сікорського, к.т.н,
Яковлев Сергій Володимирович _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.
Студент _____

Київ – 2024 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий інститут телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 172 «Електронні комунікації та радіотехніка»

Освітньо-професійна програма «Інженерія та програмування інфокомунікацій»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Сергій КРАВЧУК

« ___ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Романченку Дмитру Олександровичу

1. Тема дисертації «Модель сенсорної мережі комунального господарства», науковий керівник дисертації Явіся Валерій Сергійович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «07» листопада 2024 р. № 4989-с.
2. Термін подання студентом дисертації 10.12.2024 р.
3. Об'єкт дослідження процес збору та агрегації даних лічильників складними динамічними системами
4. Предмет дослідження: методи дистанційного зчитування показників лічильників води, газу та світла; їх агрегації та візуалізації.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити:
 - Аналіз існуючих методів дистанційного збору даних.
 - Розробка моделі сенсорної мережі для комунального підприємства.
 - Створення прототипу сенсорної мережі та моніторингової платформи.
 - Тестування системи на тестовому стенді та оцінка її ефективності.

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу:
 Слайд №1 – Тема магістерської дисертації
 Слайд №2 – Актуальність та мета дисертації
 Слайд №3 – Завдання вирішені у роботі
 Слайд №4 – Модель сенсорних мережі комунального підприємства
 Слайд №5 – Тестування запропонованої мережі
 Слайд №6 – Аналіз та оцінка ефективності мережі
 Слайд №7 – Результати моделювання та висновки
 Слайд №8 – Список використаних джерел

7. Дата видачі завдання “ 02 ” вересня 2023 р.

Календарний план

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд та аналіз наукових джерел за темою	02.09.2023 – 01.04.2024	виконано
2	Розробка концепції моделі сенсорної мережі	02.04.2024 – 01.07.2024	виконано
3	Створення прототипу сенсорної мережі	02.07.2024 – 31.09.2024	виконано
4	Тестування та аналіз ефективності створеного прототипу	01.10.2024 – 01.11.2024	виконано
5	Оформлення перших двох розділів дисертації	02.11.2024 – 18.11.2024	виконано
6	Створення стартап проекту	19.11.2024 – 26.11.2024	виконано
7	Оформлення магістерської дисертації та списку використаних джерел	27.11.2024 – 07.12.2024	виконано

Студент

Дмитро РОМАНЧЕНКО

Науковий керівник дисертації

Валерій ЯВІСЯ

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 102 сторінки, включаючи 7 ілюстрацій, 28 таблиць, 9 додатків, 45 джерела за переліком посилань.

Сучасна комунальна сфера потребує ефективних рішень для управління ресурсами, які забезпечують зниження витрат та підвищення якості послуг. Впровадження сенсорних мереж дозволяє автоматизувати процеси збору даних з лічильників води, газу та електроенергії, що сприяє оперативному реагуванню на аварійні ситуації та прозорості використання ресурсів. Дослідження відповідає пріоритетам діджиталізації комунальної інфраструктури, передбаченим державними програмами.

Розкриття сутності та стану розв'язання проблеми. Наукова проблема дистанційного збору та агрегації даних в сфері комунальних підприємств залишається актуальною через складність інтеграції систем моніторингу, збору та аналізу великих обсягів даних і обмежену масштабованість існуючих рішень. Дослідження зосереджене на створенні програмного комплексу на бази сенсорної мережі, що забезпечує збір та обробку великих даних з лічильників комунальних послуг.

Мета: розробити сенсорну мережу для збору та обробки даних з лічильників комунальних послуг.

Завдання:

6. Аналіз існуючих методів дистанційного збору даних.
7. Розробка моделі сенсорної мережі для комунального підприємства.
8. Створення прототипу сенсорної мережі та моніторингової платформи.
9. Тестування системи на тестовому стенді та оцінка її ефективності.

Об'єкт дослідження: процес збору та агрегації даних лічильників складними динамічними системами.

Предмет дослідження: методи дистанційного зчитування показників лічильників води, газу та світла; їх агрегації та візуалізації.

Методи дослідження: використано методи аналізу та синтезу, комп'ютерного моделювання, аналізу даних, оптимізаційних алгоритмів.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Розроблено прототип сенсорної мережі для дистанційного зчитування даних лічильників в комунальному підприємстві.
2. Створено платформу для візуалізації даних з лічильників комунальних послуг.
3. Запропоновано метод інтеграції платформи моніторингу даних комунальних лічильників в інфраструктуру комунальних підприємств.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені рішення забезпечують зниження витрат на моніторинг ресурсів і підвищення точності зчитування показників лічильників. Система була використана на тестовому стенді, що дозволило виявити її високу ефективність та масштабованість, а також закласти один із векторів розвитку сучасних інформаційних технологій в сфері комунальних підприємств.

Ключові слова: СЕНСОРНІ МЕРЕЖІ, КОМУНАЛЬНІ ПІДПРИЄМСТВА, АНАЛІЗ ДАНИХ, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ДИСТАНЦІЙНЕ ЗЧИТУВАННЯ.

ABSTRACT

Scope of work: 102 pages, including 7 illustrations, 28 tables, 9 appendices, and 45 sources in the reference list.

The modern municipal sector requires effective solutions for resource management that ensure cost reduction and improve service quality. Implementing sensor networks allows for the automation of data collection processes from water, gas, and electricity meters, contributing to rapid response to emergency situations and transparency in resource usage. This research aligns with the priorities of digitizing municipal infrastructure outlined in state programs.

Revealing the essence and current state of the problem.

The scientific problem of remote data collection and aggregation in the field of municipal enterprises remains relevant due to the complexity of integrating monitoring systems, collecting and analyzing large volumes of data, and the limited scalability of existing solutions. The research focuses on creating a software suite based on a sensor network that ensures the collection and processing of big data from utility service meters.

Objective: develop a sensor network for collecting and processing data from utility service meters.

Tasks:

1. Analysis of existing methods for remote data collection.
2. Development of a sensor network model for a municipal enterprise.
3. Creation of a prototype sensor network and monitoring platform.

4. Testing the system on a test bench and evaluating its effectiveness.

Object of the Research: The process of collecting and aggregating meter data by complex dynamic systems.

Subject of the Research: Methods of remote reading of water, gas, and electricity meter readings; their aggregation and visualization.

Research Methods: Methods of analysis and synthesis, computer modeling, data analysis, and optimization algorithms were used.

Scientific Novelty of the Obtained Results:

1. Developed a prototype sensor network for remote reading of meter data in a municipal enterprise.
2. Created a platform for visualizing data from utility service meters.
3. Proposed a method for integrating the utility meter data monitoring platform into the infrastructure of municipal enterprises.

Practical Significance of the Obtained Results: The developed solutions provide cost reduction in resource monitoring and increase the accuracy of meter readings. The system was used on a test bench, which revealed its high efficiency and scalability, laying the groundwork for one of the development vectors of modern information technologies in the field of municipal enterprises.

Keywords: SENSOR NETWORKS, UTILITY ENTERPRISEI, DATA ANALYSIS, INTERNET OF THINGS, MODERN TECHNOLOGIES, REMOTE READING.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	11
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ВІДОМОСТЕЙ.....	12
1.1. Огляд наукової літератури щодо сенсорних мереж.....	12
1.2 Стан комунального господарства України: виклики та необхідність технологічної модернізації.....	17
1.3. Інтеграція сучасних інформаційних технологій у комунальному господарстві.....	19
1.4. Методологічні підходи до дослідження сенсорних мереж	21
1.5. Сучасні тенденції та інновації в технології сенсорних мереж	23
Висновки.....	26
РОЗДІЛ 2 ІНТЕГРАЦІЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ У КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	28
2.1. Архітектура та компоненти сенсорних мереж	28
2.2. Застосування сенсорних мереж у комунальному господарстві.....	32
2.3. Вигоди та виклики інтеграції сенсорних мереж.....	34
2.4. Кращі практики та кейси успішної інтеграції сенсорних мереж.....	37
Висновки.....	39
РОЗДІЛ 3 СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ В КОМУНАЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ	41
3.1. Критерії оцінки ефективності сенсорної мережі.....	41
3.2 Концепція сенсорної мережі.....	42
3.3. Прототип сенсорної мережі комунального підприємства.....	44
3.4. Вплив сенсорної мережі на операційну діяльність підприємства....	49

3.5. Аналіз економічної доцільності впровадження сенсорних мереж...51	51
3.6 Оцінка прототипу сенсорної мережі за наведеними критеріями56	56
Висновки.....59	59
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ61	61
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....87	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ89	89
ДОДАТКИ.....94	94

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

БСМ	Бездротові сенсорні мережі
ГІС	Геоінформаційні системи
КП	Комунальне підприємство
ЦОД	Центр обробки даних
CPU	Центральний процесор (Central Processing Unit)
CRM	Система управління взаємовідносинами з клієнтами (Customer Relationship Management)
DL	Глибоке навчання (Deep Learning)
ERP	Система управління підприємством
GCP	Google Cloud Platform
GNS	Глобальна навігаційна система
gRPC	Віддалений виклик процедур Google (Google Remote Procedure Call)
HTTP	Протокол передачі гіпертексту (HyperText Transfer Protocol)
IaC	Інфраструктура як код (Infrastructure as Code)
IoT	Інтернет речей
MIMO	Багатоканальний вхід та вихід (Multiple Input Multiple Output)
RAM	Оперативна пам'ять (Random Access Memory)
SCADA	Система диспетчерського контролю та збору даних

ВСТУП

Сучасний розвиток комунальної сфери є ключовим фактором забезпечення сталого функціонування міст та сіл, що відповідає цілям сталого розвитку, визначеним державними та міжнародними програмами. Впровадження автоматизованих систем збору та обробки даних із сенсорних мереж дозволяє підвищити ефективність управління комунальними ресурсами, оперативно реагувати на аварійні ситуації та знижувати витрати на моніторинг. Це, у свою чергу, сприяє прозорості надання послуг, зниженню втрат ресурсів та поліпшенню якості життя населення. Особливо важливою є інтеграція таких технологій у контексті діджиталізації економіки та запровадження інтелектуальних міст, що активно підтримується державними ініціативами.

Актуальність теми зумовлена необхідністю адаптації комунальної інфраструктури до викликів сучасності, таких як зростання попиту на послуги, підвищення тарифів та необхідність оптимізації витрат. Використання сенсорних мереж для дистанційного зчитування показників лічильників води, газу та електроенергії дозволяє значно зменшити вплив людського фактора, підвищити точність даних і забезпечити своєчасну візуалізацію та аналіз показників. Це відкриває нові перспективи для управління ресурсами та прийняття рішень на основі великих даних, що є стратегічним напрямом державної політики у сфері цифровізації та модернізації критичної інфраструктури.

Дослідження є важливим внеском у розробку ефективних рішень для підвищення продуктивності комунальних підприємств, інтеграції новітніх технологій у сферу послуг та забезпечення енергетичної ефективності, що є пріоритетом галузевих та державних програм розвитку.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ ВІДОМОСТЕЙ

1.1. Огляд наукової літератури щодо сенсорних мереж

Бездротові сенсорні мережі (БСМ) є одними з найбільш перспективних технологій у сучасному світі, забезпечуючи основу для багатьох систем автоматизації, моніторингу та управління. Це розподілені системи, що складаються з багатьох автономних вузлів, здатних як збирати дані з навколишнього середовища, так і передавати їх через бездротові канали зв'язку [1]. Основна перевага БСМ полягає в їхній здатності працювати без централізованого управління, завдяки властивості самоорганізації.

Самоорганізація дозволяє мережам автоматично налаштовувати свою роботу в умовах обмежених ресурсів, адаптуватися до змін зовнішнього середовища та функціонувати навіть у разі відмови окремих вузлів. Ця властивість є критично важливою для забезпечення стабільної роботи таких систем у складних та динамічних умовах.

Окрім БСМ, до інших видів сенсорних мереж належать бездротові мережі персонального радіусу (БМПР) та спеціалізовані бездротові мережі (БСПМ). Незважаючи на схожість, ці мережі мають відмінності в архітектурі, призначенні та методах організації [2]. Наприклад, БМПР зазвичай використовуються для взаємодії пристроїв на невеликій відстані, тоді як БСПМ орієнтовані на виконання вузькоспеціалізованих завдань.

Самоорганізація є ключовим компонентом функціонування БСМ і базується на таких принципах:

- Відсутність зовнішнього впливу. Мережа функціонує автономно, без централізованого управління, що дозволяє зменшити залежність від одного вузла або зовнішнього контролю.

- Автономний вибір дій. Кожен вузол аналізує локальні умови та приймає рішення самостійно, забезпечуючи гнучкість у роботі мережі.

- Ефективність ресурсів. Важливим фактором є мінімізація енергетичних та обчислювальних ресурсів, що необхідні для збору, обробки та передачі даних.

Самоорганізація забезпечує можливість мережі адаптувати свою конфігурацію, змінювати функціональні характеристики та підтримувати працездатність навіть у разі збільшення кількості вузлів або втрати деяких із них.

Для реалізації самоорганізації в БСМ використовуються різноманітні механізми, які визначаються типом доступної інформації:

1. На основі даних про місце розташування. Цей механізм передбачає використання географічної інформації або даних про належність вузла до певної групи [3]. Наприклад, багатоланкові кластери можуть організовувати вузли на основі їхнього місцезнаходження, що сприяє оптимізації передачі даних.
2. На основі інформації про сусідів. Тут вузли мають доступ лише до інформації про сусідні вузли в межах однієї ланки. Це дозволяє створювати одноланкові кластери, які підтримують актуальну конфігурацію в межах локальних зв'язків.
3. На основі ймовірнісних методів. У деяких випадках вузли приймають рішення на основі статистичних даних, накопичених раніше, не зберігаючи поточну конфігурацію мережі.

4. На основі принципів роботи біосистем. Цей підхід використовує зворотний зв'язок: позитивний стимулює передачу даних, тоді як негативний обмежує її для уникнення перевантаження.

Кластери формуються як множини вузлів, розташованих близько один до одного, що мінімізує енергетичні витрати на обмін повідомленнями.

Протоколи маршрутизації в БСМ відіграють важливу роль у забезпеченні стабільності та ефективності мережі. Найефективнішими є ієрархічні протоколи, такі як LEACH, PEGASIS, TEEN, APTEEN та SOP. Ці протоколи організують вузли в кластери, що дозволяє зменшити витрати енергії та оптимізувати передачу даних до базової станції. Завдяки ієрархічній структурі зменшується кількість обчислень і транзакцій, що є важливим для великих мереж.

На Рисунку 1.1 порівняння різних рівнів детермінованості та масштабованості в мережах. Показано, як централізовані системи забезпечують високу передбачуваність, але не здатні масштабуватися, тоді як самоорганізовані мережі мають протилежні властивості.

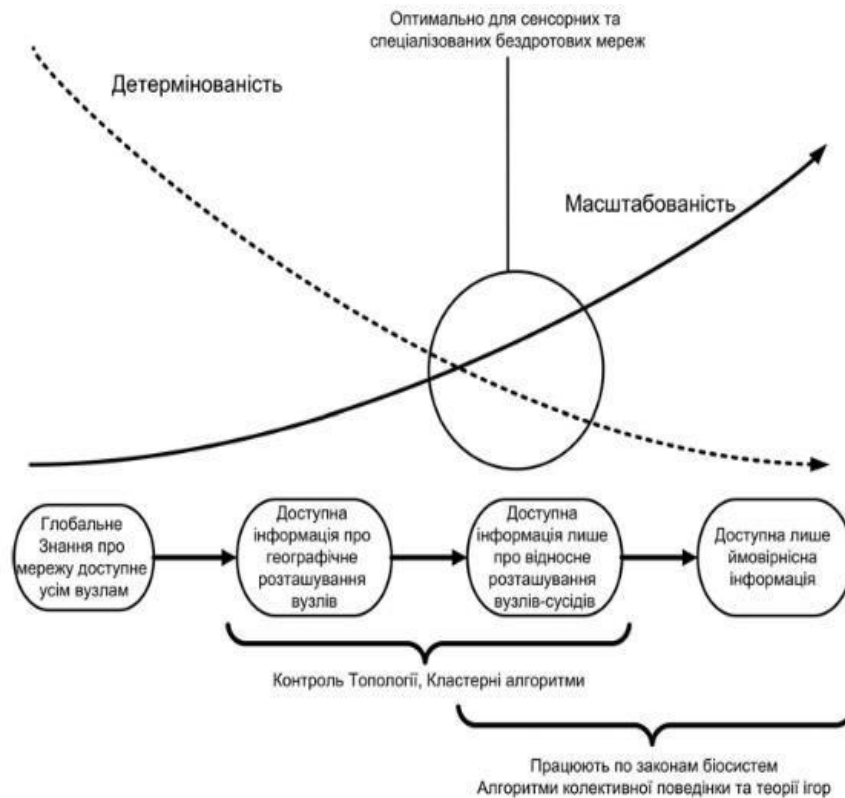


Рис.1.1. Порівняння різних рівнів детермінованості та масштабованості в мережах

Цей рисунок підкреслює переваги децентралізованих підходів, таких як самоорганізація, для великих і динамічних мереж. Він демонструє компроміс між стабільністю та гнучкістю, які є ключовими для сучасних БСМ.

Одним із найбільших викликів для БСМ є забезпечення захисту інформації. Для цього потрібен обмін ключами та підтримка сесій, що суттєво ускладнює процес самоорганізації. Зростання кількості транзакцій між вузлами підвищує енергоспоживання, що є критично важливим для сенсорних мереж, де ресурси енергії обмежені.

Таблиця 1.1 демонструє основні характеристики мережі, що змінюються внаслідок самоорганізації. Зокрема, такі показники, як масштабованість та мобільність, значно покращуються, тоді як надійність з'єднання та захист інформації можуть знижуватися.

Таблиця 1.1

Характеристики мережі, що змінюються внаслідок самоорганізації

Характеристика	Погіршується (↓) чи покращується (↑) внаслідок застосування самоорганізації
Масштабованість або здатність мережі до розширення	↑
Надійність з'єднання	↓
Доступність кожного елемента мережі в будь-який момент часу	↓
Можливість мобільності	↑
Швидкодія	↓
Покриття	↑
Захист інформації	↓
Узгодженість у функціонуванні	↓

Ця таблиця дає змогу проаналізувати, які аспекти мережі покращуються, а які погіршуються при використанні механізмів

самоорганізації. Вона підкреслює важливість балансування між перевагами, такими як масштабованість, і недоліками, такими як зниження надійності.

1.2 Стан комунального господарства України: виклики та необхідність технологічної модернізації

Комунальне господарство України стикається з багатьма проблемами, вирішення яких вимагає негайного вдосконалення технологій. Зношеність інфраструктури, неефективність енергетики, фінансові проблеми, проблеми з навколишнім середовищем та наслідки війни на сході країни створюють значні перешкоди для ефективного функціонування житлово-комунального сектору [4]. Більшість комунальних мереж зараз дуже погано працюють, оскільки вони були побудовані кілька десятиліть тому. Це призводить до частих аварій і значних втрат ресурсів. Застарілі технології та обладнання споживають надмірну кількість енергії, що призводить до підвищення витрат і негативного впливу на навколишнє середовище. Розвиток і модернізація комунального господарства гальмується недостатнім фінансуванням і низькою привабливістю інвестицій. Забруднення навколишнього середовища викликається неефективною системою утилізації відходів і застарілими очисними спорудами. Збройна агресія на сході України зруйнувала комунальну інфраструктуру, що ускладнило надання населенню послуг.

Необхідно впроваджувати сучасні технології, які підвищать ефективність і надійність комунальних послуг, щоб вирішити ці проблеми. Використання бездротових сенсорних мереж (БСМ) є перспективним напрямком. БСМ складаються з великої кількості автономних сенсорних вузлів, які мають здатність збирати, обробляти та передавати інформацію

про стан різних об'єктів і процесів [5]. Їх використання в комунальному господарстві може призвести до моніторингу стану інфраструктури, оптимізації енергоспоживання, покращення якості послуг, контролю за екологією та підвищення безпеки. Сенсори можуть відстежувати параметри водопровідних і теплових мереж і виявити витіки, корозію та інші проблеми. Це дозволяє швидко виконувати ремонти та запобігати аваріям. Збір поточних даних про споживання енергії дозволяє оптимізувати роботу обладнання, знижувати пікові навантаження та підвищувати енергоефективність. Контроль параметрів, таких як вода та повітря, допомагає гарантувати високу якість комунальних послуг і швидко реагувати на відхилення від норми. Сенсорні мережі сприяють екологічній безпеці, відстежують рівень забруднення навколишнього середовища та контролюють стан сміттєзвалищ і очисних споруд. Газові мережі можна керувати сенсорами, щоб виявляти витіки та запобігати можливим аваріям.

Деякі українські міста вже почали використовувати функції «розумного міста», які включають сенсорні мережі для моніторингу освітлення, моніторингу якості повітря та моніторингу транспортних потоків. Ці проекти показують, наскільки ефективним є БСМ у покращенні інфраструктури міста. Нагальною потребою є технологічна модернізація комунального господарства України. Бездротові сенсорні мережі покращують управління інфраструктурою, знижують витрати, надають кращі послуги та захищають навколишнє середовище. Щоб ці проекти були успішними, держава повинна підтримувати їх, залучати інвестиції та підвищувати обізнаність громадськості про переваги сучасних технологій.

1.3. Інтеграція сучасних інформаційних технологій у комунальному господарстві

Інтеграція сучасних інформаційних технологій є фундаментальним кроком до модернізації комунального господарства України. Використання інноваційних підходів, зокрема бездротових сенсорних мереж (БСМ), відкриває можливості для значного підвищення ефективності, прозорості й екологічності в управлінні міською інфраструктурою. Бездротові сенсорні мережі складаються з автономних вузлів, які здатні збирати, обробляти та передавати дані у реальному часі, що дозволяє створювати інтегровані системи моніторингу та управління різними аспектами комунального господарства.

Водопостачання, водовідведення, тепlopостачання, управління відходами та вуличне освітлення є тими сферами, де БСМ демонструють найвищу ефективність [6]. Наприклад, сенсори в системах водопостачання дозволяють оперативно виявляти витіки, фіксувати зміни тиску та контролювати якість води, що дає змогу зменшити втрати ресурсів та підвищити надійність мережі. У системах тепlopостачання сенсори відстежують температурні коливання та витіки тепла, що дозволяє зменшити споживання енергоресурсів. Також варто відзначити впровадження «розумних» сміттєвих баків, які завдяки сенсорам сигналізують про необхідність вивезення відходів, оптимізуючи маршрути збору сміття та зменшуючи витрати на логістику.

Таблиця 1.2 ілюструє основні переваги інтеграції сучасних технологій у ключових аспектах комунального господарства.

**Інтеграції сучасних технологій у ключових аспектах
комунального господарства**

Сфера застосування	Основні технології	Очікувані результати
Водопостачання	Сенсори для моніторингу тиску, якості води, витоків	Зменшення витрат, підвищення якості послуг
Теплопостачання	Сенсори для моніторингу температури, витоків	Оптимізація енергоспоживання, зменшення витрат
Вуличне освітлення	«Розумне» управління освітленням, датчики руху	Економія енергії, зменшення витрат на обслуговування
Утилізація відходів	«Розумні» смітєві баки, маршрутизація збору	Оптимізація логістики, зниження екологічного навантаження
Моніторинг екологічного стану	Сенсори для вимірювання якості повітря, шуму	Своєчасне реагування на екологічні виклики

Інформаційні технології також сприяють впровадженню систем управління даними, які забезпечують прозорість і контроль усіх операцій у сфері комунального господарства [4]. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню довіри населення до комунальних служб і залученню інвесторів. Завдяки автоматизації процесів збору, обробки та аналізу даних можливо створити ефективну систему моніторингу інфраструктури, що дозволяє вчасно реагувати на аварійні ситуації, планувати ремонти та знижувати експлуатаційні витрати.

Проте процес інтеграції сучасних інформаційних технологій стикається з низкою викликів. Основними серед них є висока вартість впровадження, необхідність модернізації старих інфраструктурних об'єктів

та забезпечення кібербезпеки систем. Важливо зазначити, що державна підтримка, міжнародне фінансування та співпраця з приватним сектором можуть сприяти розв'язанню цих проблем. Одночасно впровадження стандартів безпеки та навчання персоналу забезпечить ефективну роботу нових систем.

Інтеграція бездротових сенсорних мереж та інших сучасних інформаційних технологій є критично важливою для забезпечення сталого розвитку комунального господарства України. Це не лише підвищує якість послуг, але й сприяє зниженню витрат, екологізації процесів та створенню комфортних умов для життя громадян. Інноваційні підходи формують основу для побудови «розумних» міст, які відповідають сучасним викликам і забезпечують сталий розвиток.

1.4. Методологічні підходи до дослідження сенсорних мереж

Методи дослідження сенсорних мереж забезпечують основу для створення та впровадження революційних технологій у сфері телекомунікацій. Розподілені системи, які використовують бездротові технології для взаємодії автономних вузлів, називають бездротовими сенсорними мережами (БСМ) [7]. В різних умовах, особливо в складних середовищах, ці мережі мають здатність спостерігати, збирати та аналізувати дані. Їх створення та використання вимагає інтеграції різних методологічних підходів, щоб вони були ефективними, надійними та енергоефективними.

Оцінка топології БСМ є першим етапом дослідження. Топологія описує, як зв'язані вузли мережі. У БСМ необхідно забезпечити можливість динамічної адаптації топології, оскільки вузли можуть змінювати своє

розташування або зупинятися. Методологічний підхід до вивчення топології включає моделювання різних сценаріїв роботи мережі залежно від розміру, кількості вузлів і мобільності. Наприклад, ієрархічні протоколи, такі як LEACH, PEGASIS і TEEN, можуть допомогти оптимізувати використання енергії та ефективно передавати дані до базових станцій.

Вибір протоколу маршрутизації є ключовим компонентом методології. БСМ прагне максимізувати час роботи мережі та мінімізувати споживання електроенергії. Це можна досягти за допомогою адаптивних алгоритмів маршрутизації, які враховують стан кожного вузла, залишкову енергію та навколишнє середовище. Для аналізу ефективності цих протоколів можна використовувати математичні методи, такі як MATLAB або Tinkercad.

Розробка способів самовдосконалення є важливою частиною. БСМ повинні мати можливості самооптимізації, самоконфігурації, самовідновлення та адаптації. Наприклад, у випадку виходу з ладу одного з вузлів мережа повинна автоматично переналаштовувати маршрути, щоб гарантувати безперервність передачі даних. Це вимагає розробки алгоритмів, які базуються на локальній інформації та принципах роботи біологічних систем, щоб досягти цього. Такі методи включають методи кластеризації вузлів, які зменшують обсяг переданої інформації та зменшують споживання енергії.

Сучасні технології моніторингу та збору даних також є частиною досліджень БСМ. Щоб досягти цього, використовуються датчики з високою чутливістю та низьким енергоспоживанням, що дозволяє значно розширити функціональність мережі [8]. Наприклад, можна ефективно моніторити навколишнє середовище, інтегруючи БСМ з датчиками температури, вологості, тиску та хімічного складу повітря.

Дослідження методів забезпечення безпеки БСМ є ще одним важливим напрямком досліджень. Оскільки середовище передачі даних відкрите, такі мережі схильні до атак, таких як перехоплення даних або атаки на відмову в обслуговуванні. Таким чином, криптографічні протоколи, які забезпечують захист даних без значного збільшення енергоспоживання, повинні бути введені в дію.

Методологічні підходи до дослідження сенсорних мереж включають складні підходи для гарантії функціональності, надійності та енергоефективності. Вони базуються на розробці алгоритмів, експериментах і симуляціях, щоб адаптувати мережу до змінних умов роботи. Сучасні бездротові сенсорні мережі є важливою частиною інформаційно-комунікаційних технологій і пропонують нові можливості для використання в різних сферах, зокрема в моніторингу навколишнього середовища, медицини, бізнесу та безпеки.

1.5. Сучасні тенденції та інновації в технології сенсорних мереж

Багато сфер, таких як моніторинг навколишнього середовища, «розумні» міста, медичні технології та військова сфера, залежать від сучасних тенденцій та інновацій в технології сенсорних мереж. Завдяки своїй універсальності, ефективності та здатності до самоорганізації бездротові сенсорні мережі (БСМ) широко впроваджуються в інфраструктурні та споживчі рішення [9]. БСМ вважаються основою Інтернету речей (IoT).

Розробка мініатюрних сенсорів, які поєднують високий рівень функціональності та низьке енергоспоживання, є однією з основних тенденцій. Прогрес у нанотехнологіях і мікроелектроніці дозволив значно

зменшити розмір сенсорних вузлів, що підвищило їхню продуктивність і довговічність роботи. Наприклад, мікросхеми, які містять інтегровані датчики температури, вологості, тиску та інших функцій, зараз використовуються в портативних пристроях і вбудованих системах.

Стандарт IEEE 802.15.4, який базується на технології ZigBee, значно спрощує створення енергоефективних мереж з високою передачею даних. Використовуючи цю технологію, можна створити локальні мережі, які мають високу мобільність при невеликому радіусі дії. Наприклад, ZigBee використовується в «розумних» будинках для контролю безпеки, енергоспоживання та освітлення.

Значна увага приділяється створенню протоколів маршрутизації, які дозволяють використовувати обмежені ресурси мережі. Протоколи, такі як LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy), PEGASIS (Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems) і TEEN (Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network), оптимізують розподіл навантаження між вузлами та мінімізують енергоспоживання. Це надзвичайно важливо для мереж, розташованих у важкодоступних місцях або з обмеженим технічним обслуговуванням.

Інноваційна тенденція передбачає впровадження систем, які не потребують додаткової енергії. Навіть у віддалених або важкодоступних місцях можна забезпечити живлення сенсорів за допомогою джерел енергії з навколишнього середовища, таких як сонячні панелі, п'єзоелектричні елементи та термоелектричні генератори. Крім того, цей метод знижує залежність від традиційних батарей і зменшує витрати на технічне обслуговування.

Інтеграція технологій штучного інтелекту (ШІ) і машинного навчання (МН) у сенсорні мережі є значним проривом. Ці технології дозволяють

приймати рішення в режимі реального часу на основі аналізу величезних обсягів даних, зібраних сенсорами. Наприклад, у сільському господарстві використовуються БСМ для моніторингу стану ґрунту та прогнозування врожайності, а алгоритми МН оптимізують використання добрив і води.

Крім того, є розробки, пов'язані з гібридними сенсорними мережами, які поєднують Wi-Fi, 5G, Bluetooth і супутниковий зв'язок. Як наслідок гнучкості та масштабованості таких мереж, можна збирати та передавати дані в будь-яких умовах (див.табл.1.3).

Таблиця 1.3

Основні тенденції та їхні переваги

Тенденція	Опис	Переваги
Мініатюризація сенсорів	Зменшення розмірів і ваги сенсорів	Легке впровадження в різноманітні об'єкти
Енергоефективність	Використання низькоенергетичних протоколів	Збільшення тривалості роботи мережі
Протоколи маршрутизації	Оптимізація передачі даних	Зменшення енергоспоживання
Енергоавтономність	Живлення від джерел навколишнього середовища	Робота в умовах відсутності технічного обслуговування
Інтеграція ІІІ та МН	Використання алгоритмів для аналізу даних	Підвищення точності і швидкості прийняття рішень
Гібридні мережі	Комбінація різних технологій зв'язку	Збільшення гнучкості і масштабованості

Таким чином, сучасні тенденції та інновації в технології сенсорних мереж відкривають нові можливості для їхнього використання у

різноманітних галузях, забезпечуючи енергоефективність, надійність і гнучкість. Їхнє подальше вдосконалення сприятиме більш широкому впровадженню в інфраструктурні та споживчі рішення.

Висновки

Бездротові сенсорні мережі (БСМ) є однією з найперспективніших технологій сучасності, яка знаходить застосування у різних галузях, таких як автоматизація, моніторинг та управління. Ці розподілені системи, завдяки властивості самоорганізації, забезпечують стабільність і ефективність роботи навіть у складних умовах. Самоорганізація є критично важливою для функціонування БСМ, оскільки дозволяє їм автономно адаптуватися до змін навколишнього середовища, оптимізувати використання ресурсів і підтримувати працездатність у разі збоїв окремих вузлів.

Важливим аспектом дослідження БСМ є механізми самоорганізації, які забезпечують гнучкість і адаптивність мереж. Вони включають підходи, що базуються на місцезнаходженні вузлів, інформації про сусідів, ймовірнісних методах і принципах роботи біосистем. Ієрархічні протоколи маршрутизації, такі як LEACH, PEGASIS, TEEN, довели свою ефективність у зменшенні енергоспоживання та оптимізації передачі даних, що особливо важливо для великих розподілених систем.

Сучасний стан комунального господарства України вимагає негайної модернізації через зношеність інфраструктури, енергетичну неефективність і екологічні проблеми. Впровадження БСМ у цей сектор може суттєво покращити моніторинг стану інженерних мереж, оптимізувати споживання енергоресурсів і підвищити якість комунальних послуг. Завдяки сенсорам,

які відстежують ключові параметри інфраструктури, можливе своєчасне виявлення проблем і запобігання аваріям, що сприятиме загальному підвищенню ефективності системи.

Методологія дослідження БСМ базується на використанні математичного моделювання, комп'ютерних симуляцій, алгоритмів самоорганізації, аналізу енергоспоживання та експериментального тестування. Крім того, інтеграція з технологіями штучного інтелекту (ШІ) та Інтернету речей (IoT) дозволяє значно розширити функціональність БСМ, роблячи їх потужним інструментом для вирішення складних завдань у реальному часі.

Сучасні інновації у сфері БСМ включають розробку мініатюрних сенсорів із низьким енергоспоживанням, впровадження автономних джерел живлення, інтеграцію з технологіями ШІ, а також створення гібридних мереж, які поєднують різні стандарти зв'язку. Ці досягнення значно підвищують ефективність, надійність і масштабованість БСМ, відкриваючи нові можливості для їхнього застосування в інфраструктурних проєктах, екологічному моніторингу, медицині та інших галузях.

Бездротові сенсорні мережі є не лише важливим компонентом сучасних інформаційних технологій, але й рушієм інновацій у багатьох секторах. Їхнє впровадження сприятиме технологічному прогресу, підвищенню якості життя та сталому розвитку суспільства.

РОЗДІЛ 2

ІНТЕГРАЦІЯ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ У КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

2.1. Архітектура та компоненти сенсорних мереж

Розподілені системи, відомі як сенсорні мережі, складаються з великої кількості сенсорних вузлів, які працюють разом, щоб збирати, обробляти та передавати інформацію про різні фактори навколишнього середовища. Вони широко застосовуються в багатьох сферах, включаючи промисловий нагляд, екологічний контроль, розумні будинки та міста, медицину та військову діяльність.

Основні складові сенсорних мереж:

1. Сенсори є важливою частиною мережі. Вони генерують електричні імпульси з фізичних або хімічних сигналів, таких як тиск, вологість і температура. Сенсорний вузол складається з двох компонентів: датчика, який реєструє зміни параметрів середовища.

Мікроконтролер обробляє дані.

- Комунікаційний модуль служить для передачі даних.
- Блок живлення: зазвичай це акумулятор або сонячні панелі.

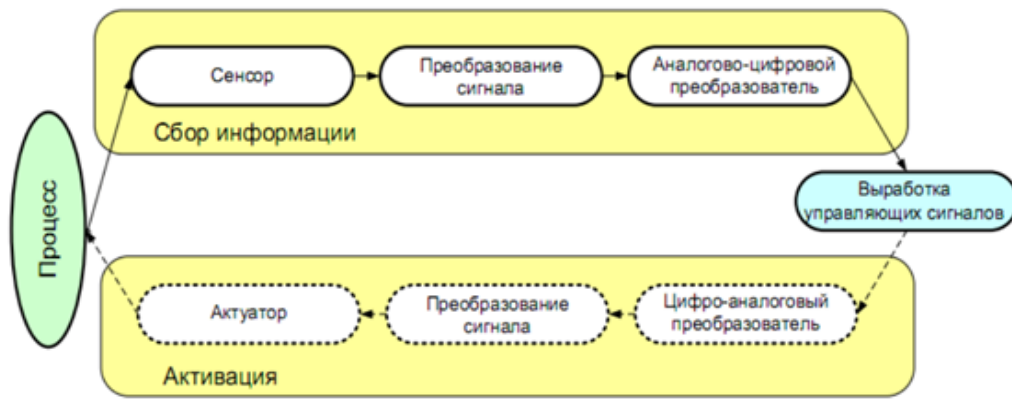


Рис. 2.1. Основні компоненти сенсорного вузла

2. Шлюзи дозволяють передавати дані з сенсорів на локальні сервери або хмарні платформи. Шлюзи виконують дві основні функції: збір даних від різних сенсорів.

- Перша обробка даних, щоб зменшити обсяг передачі
- Підключення до мережі за допомогою мобільного зв'язку, Wi-Fi або Ethernet.

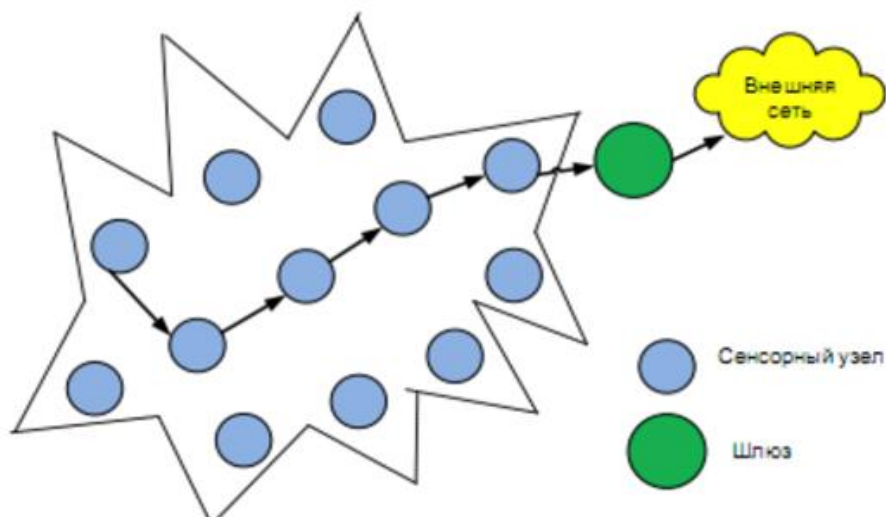


Рис. 2.2. Схема роботи шлюзу у сенсорній мережі

3. Платформи, призначені для обробки даних. Ця платформа обробляє, аналізує та зберігає інформацію. Платформи для великих даних, такі як Hadoop і Spark, є популярними технологіями.

- Хмарні сервіси, такі як Google Cloud і AWS.
- Показ даних у реальному часі за допомогою Tableau або Grafana

Моделі архітектури сенсорних мереж:

1. Однорівнева структура архітектури Всі сенсори безпосередньо підключені до сервера, центрального вузла. Переваги: легко реалізувати. Масштабованість і високе енергоспоживання є недоліками.

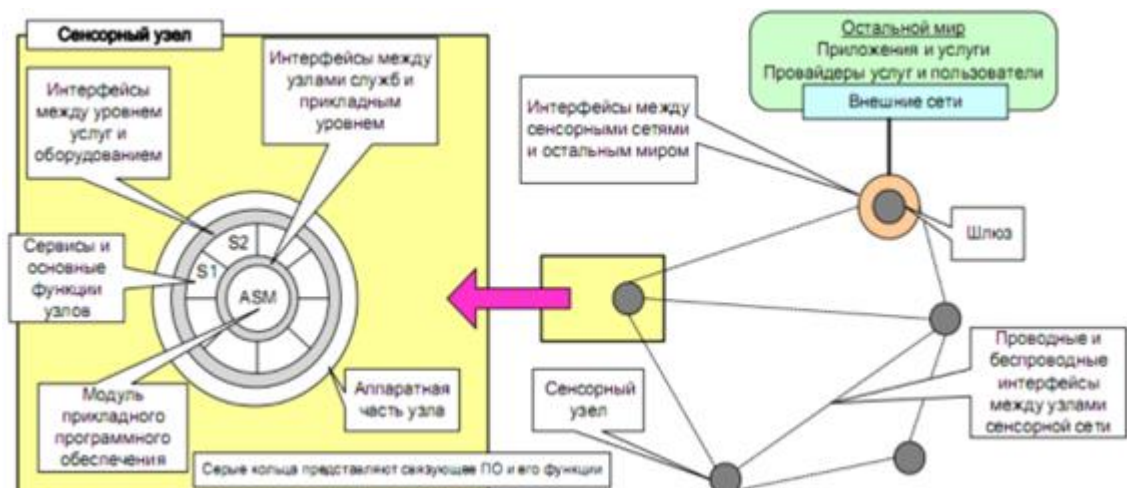


Рис. 2.3. Однорівнева архітектура

2. Багаторівнева архітектура. Передача даних відбувається через кілька рівнів шлюзів, що дозволяє використовувати ресурси ефективніше.

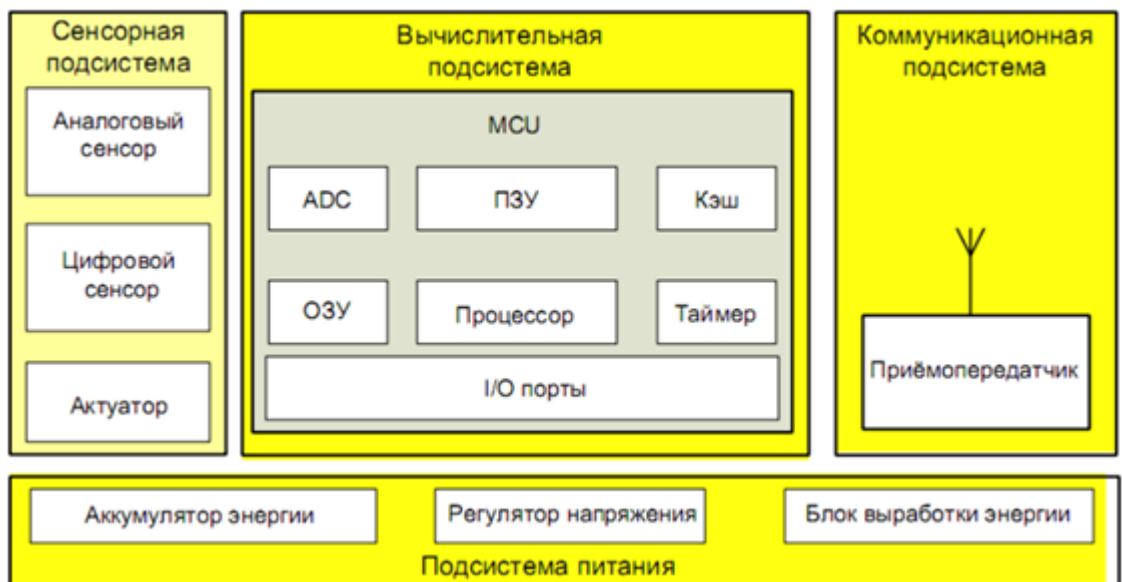


Рис. 2.4. Багаторівнева архітектура

Протоколи зв'язку:

1. Більш швидкий радіозв'язок:

- Zigbee — це енергоефективний протокол для створення мереж з малою пропускною здатністю.
- Bluetooth Low Energy (BLE): призначений для коротких відстаней, які потребують малої кількості енергії.
- Шнур: протокол, оптимізований для розумних будинків.

2: Широкомасштабний зв'язок:

- LoRaWAN використовується для великих територій з низькою пропускною здатністю.
- NB-IoT: протокол, призначений для взаємодії з мобільними мережами.

Застосування сенсорних мереж у реальному світі:

1. Моніторинг середовища. Сенсори відстежують стан лісів, річок і якості повітря.

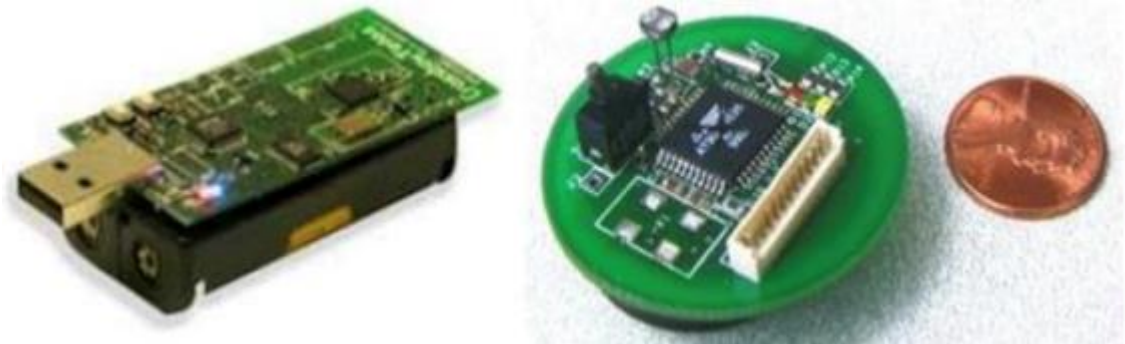


Рис. 2.5. Сенсорні мережі у моніторингу навколишнього середовища

2. Розумні міста: збори даних про транспортний трафік, стан інфраструктури та споживання енергії.

Сучасні інформаційні системи базуються на сенсорних мережах, які забезпечують ефективний збір, аналіз і передачу даних. Вони стали важливою частиною Інтернету речей (IoT) завдяки тому, наскільки універсальними вони є.

2.2. Застосування сенсорних мереж у комунальному господарстві

Застосування сенсорних мереж у комунальному господарстві є основою для формування інноваційних підходів до управління ресурсами та забезпечення сталого розвитку міської інфраструктури. Такі мережі дозволяють автоматизувати процеси збору, передачі й аналізу даних, що є

ключовим фактором для ефективного використання природних ресурсів, зниження операційних витрат та підвищення якості послуг для населення.

Моніторинг та управління ресурсами в комунальному господарстві охоплює такі напрямки, як водопостачання, енергетика, тепlopостачання, газорозподіл, а також контроль і очищення стічних вод. Установка інтелектуальних датчиків дозволяє в реальному часі отримувати дані про споживання води, електроенергії чи газу, виявляти аварійні ситуації, такі як витoki чи перевищення допустимих норм. Наприклад, сенсори в системах водопостачання дозволяють виявляти несанкціоновані витрати або витoki води, що забезпечує більш раціональне використання цього ресурсу. Технології LoRaWAN і NB-IoT забезпечують стабільну передачу даних навіть на великі відстані, при цьому мінімізуючи енергоспоживання.

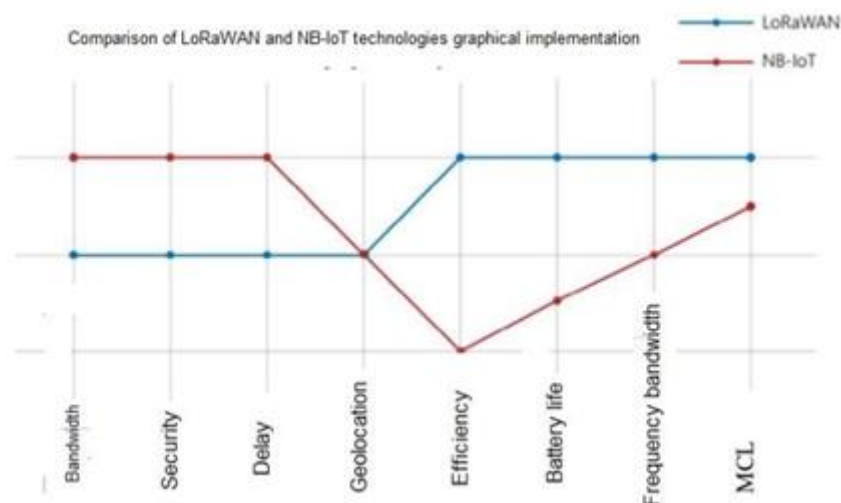


Рис.2.6. Моніторинг та управління ресурсами в сенсорних мережах

Інтелектуальне освітлення є одним із найперспективніших напрямків застосування сенсорних мереж у міському середовищі. Завдяки встановленню сенсорів, які реагують на рівень освітленості, рух чи погодні

умови, міста можуть значно знизити витрати на електроенергію. Такі системи дозволяють автоматично вимикати освітлення на вулицях у відсутності руху пішоходів чи транспорту, регулювати інтенсивність світла залежно від часу доби чи сезону. Окрім економії ресурсів, ці технології підвищують рівень безпеки та створюють комфортні умови для мешканців.

Системи екологічного моніторингу та безпеки спрямовані на захист навколишнього середовища та забезпечення громадської безпеки. Сенсори, розташовані у міських парках, поблизу промислових зон чи транспортних магістралей, дозволяють відстежувати рівень забруднення повітря, шуму або вібрацій, що створюють негативний вплив на здоров'я людей. Окрім цього, вони фіксують аварійні ситуації, наприклад, витoki шкідливих речовин чи надмірний рівень CO_2 , і оперативно передають сигнали відповідним службам для реагування. Також сенсорні мережі використовуються для моніторингу якості води у річках та озерах, що сприяє збереженню екосистеми.

Інтеграція сенсорних мереж у комунальне господарство має величезний потенціал для створення «розумних» міст. Використання цих технологій забезпечує прозорість процесів, ефективність управління та економію ресурсів, дозволяє швидко адаптуватися до нових викликів, таких як урбанізація та зміна клімату. Усі ці досягнення є важливими для підвищення якості життя людей, оптимізації витрат комунальних підприємств і збереження довкілля для майбутніх поколінь.

2.3. Вигоди та виклики інтеграції сенсорних мереж

Інтеграція сенсорних мереж у комунальному господарстві є важливим кроком до модернізації міських систем і підвищення

ефективності управління ресурсами. Сенсорні мережі забезпечують збір і аналіз даних у реальному часі, що дозволяє оперативно реагувати на зміни, оптимізувати витрати та покращувати якість послуг. Однак, впровадження таких систем пов'язане з численними вигодами та викликами, які потребують детального розгляду.

Сенсорні мережі дозволяють автоматизувати процеси моніторингу та управління ключовими ресурсами, такими як вода, енергія та відведення стоків. Встановлення інтелектуальних лічильників і датчиків забезпечує точний контроль витрат ресурсів, знижуючи витрати і мінімізуючи втрати. Економічний ефект від впровадження таких систем можна оцінити через розрахунок загальних витрат і окупності інвестицій за формулою:

$$ROI = \frac{\Delta R}{C_{total}} \times 100\% \quad (2.1)$$

де ΔR — приріст доходу або економія витрат завдяки впровадженню системи, C_{total} — загальні витрати на впровадження, які включають витрати на обладнання, встановлення, обслуговування та навчання персоналу.

Інтелектуальне освітлення є одним із ключових напрямків впровадження сенсорних мереж. Системи автоматичного регулювання яскравості на основі рівня освітленості чи активності значно знижують споживання енергії. Ефективність таких систем можна оцінити через зниження енергоспоживання:

$$E_{saved} = \frac{E_{base} - E_{smart}}{E_{base}} \times 100\% \quad (2.2)$$

де E_{saved} — споживання традиційної системи, — споживання системи з використанням сенсорів. Наприклад, сучасні інтелектуальні системи освітлення можуть знижувати енергоспоживання на 40-50%.

Екологічний моніторинг із використанням сенсорних мереж є ще одним значним застосуванням. Датчики, розташовані в міських та природних зонах, дозволяють відстежувати рівень забруднення повітря, води чи ґрунту. Зниження рівня забруднення може бути виражене через динамічну модель:

$$C(t) = C_0 e^{-kt} \quad (2.3)$$

де $C(t)$ — концентрація забруднювача в момент часу t , C_0 — початкова концентрація, k — коефіцієнт швидкості очищення.

Водночас впровадження сенсорних мереж пов'язане із значними викликами. Серед них можна виділити високі початкові витрати, складність інтеграції із застарілою інфраструктурою, а також ризики, пов'язані з кібербезпекою. Рівень ризику кіберзагроз можна оцінити за формулою:

$$R_{cyber} = P_{attack} \times L \quad (2.4)$$

де R_{cyber} — ймовірність успішної атаки, L — можливі втрати. Для мінімізації цих ризиків використовуються методи шифрування даних, багаторівневі системи резервування та регулярне оновлення програмного забезпечення.

Ще одним технічним викликом є передача великого обсягу даних у реальному часі. Загальний обсяг переданих даних можна оцінити так:

$$D_{total} = n \times f \times t \quad (2.5)$$

де n — кількість сенсорів у мережі, f — частота передачі даних, t — час роботи системи. Для оптимізації використання ресурсів застосовуються методи стиснення даних та алгоритми інтелектуальної фільтрації.

Незважаючи на виклики, вигоди від впровадження сенсорних мереж значно переважають. Це дозволяє не лише покращити якість послуг для населення, але й сприяє сталому розвитку міст завдяки зниженню енергоспоживання, зменшенню впливу на довкілля та підвищенню рівня безпеки. Інтеграція сенсорних мереж є важливим кроком до створення "розумних" міст, що поєднують сучасні технології з ефективним управлінням ресурсами.

2.4. Кращі практики та кейси успішної інтеграції сенсорних мереж

У сфері комунального господарства впровадження сенсорних мереж відкриває нові можливості для вирішення соціальних, економічних та екологічних проблем, а також автоматизує основні процеси. Успішні кейси показують, що сенсорні мережі дозволяють містам швидко адаптуватися до змін і покращувати життя громадян завдяки ефективному управлінню ресурсами, зниженню витрат і підвищенню рівня комфорту.

Сінгапур є одним із наймасштабніших прикладів використання сенсорних мереж. Місто створило інтегровану платформу в рамках ініціативи «Smart Nation», яка об'єднує дані з сенсорів у таких сферах, як транспорт, енергетика, охорона здоров'я та громадська безпека. Сенсорні мережі використовуються в комунальному господарстві для управління водопостачанням, зокрема для спостереження за станом трубопроводів і виявлення витоків у режимі реального часу. Це дозволило зменшити втрати води на тридцять відсотків за кілька років. Крім того, системи прогнозування роблять планування ремонтних робіт більш ефективним, що полегшує життя мешканців.

Ейндговен у Нідерландах є ще одним прикладом. Сенсорні мережі широко використовуються в цьому регіоні для контролю вуличного освітлення. Унікальність проєкту полягає в тому, що він включає технологію аналізу руху, яка дозволяє освітлювати лише ті місця, де є транспорт або люди. Це підвищило безпеку міста та зменшило витрати на електроенергію на п'ятдесят відсотків. У результаті успіху проєкту багато інших міст у Європі взяли на себе подібні рішення.

Сан-Франциско має сенсорні мережі для контролю паркування. Мобільний додаток використовує датчики парковки, щоб отримувати інформацію про наявність вільних місць у режимі реального часу. Це не тільки робить пошук паркувальних місць легшим, але й зменшує затори, пов'язані з паркуванням, що зменшує забруднення повітря.

Зосередження на потребах громади та отримання коментарів від громадян є ключовим компонентом успіху. Наприклад, програма «Carbon Neutral Helsinki 2030» у Гельсінкі використовує сенсорні мережі для відстеження кількості енергії, яку використовують будинки. Мобільні додатки дозволяють людям отримувати звіти про використання енергії в їхніх будинках і пропонувати поради щодо зменшення витрат. Це підвищує екологічну свідомість населення та зменшує викиди вуглецю.

Але є проблеми. Наприклад, у Детройті було виявлено, що погане навчання персоналу призводить до помилок при використанні нових технологій. Це підкреслює важливість створення простих у використанні інтерфейсів і залучення кваліфікованих працівників.

Однією з головних проблем залишаються труднощі з грошима. У багатьох містах початкові витрати на установку сенсорів і відповідну інфраструктуру надто високі. Тим не менш, позитивні приклади, такі як у місті Калгарі (Канада), свідчать про те, що співпраця з приватними

компаніями дозволяє залучати додаткове фінансування. У Калгарі витрати на енергію знизилися на 40% завдяки встановленню датчиків на системах опалення. Довгострокові контракти дозволили приватним компаніям отримати частину економії.

Зважаючи на ці випадки, можна зробити висновок, що успіх інтеграції сенсорних мереж залежить від багатьох факторів, включаючи підготовку до проекту, отримання фінансової допомоги та залучення громадськості. Удосконалення стандартів кібербезпеки, покращення технологій збору та обробки даних і створення моделей партнерства між державним і приватним секторами повинні бути центрами подальших досліджень і проектів. Це дозволить розширити рішення та інтегрувати їх у різні регіони, сприяючи розвитку «розумних» міст у всьому світі.

Висновки

Впровадження сенсорних мереж у комунальному господарстві є важливим етапом створення сучасної інфраструктури «розумних» міст. Дослідження показує, що сенсорні мережі можуть ефективно керувати ресурсами, знижувати витрати, бути екологічними та покращувати якість життя мешканців. Такі системи складаються з сенсори, шлюзи та платформ для обробки даних, які забезпечують ефективний збір, передачу та аналіз даних.

Досвід ефективних впроваджень у таких містах, як Барселона, Сінгапур, Ейндговен та інші, свідчить про те, що використання сенсорних мереж дозволяє значно економити ресурси та створювати комфортні для людей умови. Зокрема, автоматизація процесів моніторингу та управління

дозволяє оптимізувати використання води, енергії та теплопостачання та забезпечити своєчасне реагування на аварійні ситуації.

Незважаючи на значні переваги, впровадження сенсорних мереж має низку проблем. Серед них високі стартові витрати, труднощі інтеграції з застарілою інфраструктурою та загрози кібербезпеки. Для вирішення цих проблем потрібні нові методи фінансування, надійні протоколи безпеки та підвищення кваліфікації персоналу.

Загалом сенсорні мережі є чудовим інструментом для модернізації міської інфраструктури. Упровадження залежить від ретельного планування, тісної співпраці зацікавлених сторін і адаптації технологій до потреб міста. Згідно з аналізом досвіду проєктів, інтеграція сенсорних мереж може значно підвищити ефективність комунального господарства та сприяти сталому розвитку міст.

РОЗДІЛ 3

СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ В КОМУНАЛЬНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

3.1. Критерії оцінки ефективності сенсорної мережі

Перш за все потрібно визначити основні критерії та показники ефективності для прототипа сенсорної мережі. Для цього пропонується наступний перелік властивостей, за якими оцінюється сенсорна мережа.

1. **Надійність та безперервність роботи** – цей критерій визначає здатність мережі забезпечувати постійний зв'язок між вузлами, мінімізуючи ймовірність збоїв. Надійні сенсорні мережі дозволяють оперативно реагувати на можливі поломки або відхилення в роботі системи.
2. **Точність даних та швидкість обробки** – ці показники характеризують, наскільки точно мережа збирає та передає дані, а також швидкість їх обробки. Це дозволяє знизити ризик помилок, особливо важливих для комунальних послуг.
3. **Операційна ефективність** – визначає, наскільки сенсорна мережа сприяє зниженню витрат на обслуговування та управління інфраструктурою за рахунок автоматизації та зменшення людських помилок.
4. **Масштабованість** – це здатність сенсорної мережі швидко та ефективно збільшувати кількість сенсорів та вузлів без погіршення якості зв'язку та продуктивності. Ця характеристика є особливо важливою, оскільки зростання міст та збільшення навантаження на інфраструктуру потребує розширення мережі для покриття нових зон і об'єктів.

Останній пункт є особливо важливим, тому що масштабована сенсорна мережа дозволяє без проблем інтегрувати додаткові сенсори для моніторингу нових об'єктів або параметрів, таких як додаткові енергетичні, або інші лічильники.

Ці властивості мають бути притаманні створюваній сенсорній мережі. Також зафіксуємо той факт, що створення власне агентів-лічильників в даній роботі не розглядається й виходить за межі дослідження. Тим не менш, через те, що здебільшого мережа покладається на роботу своїх агентів, вищеописані властивості мають бути притаманні й її окремим елементам, включаючи але не обмежуючись агентами-лічильниками.

3.2 Концепція сенсорної мережі

В дослідженні пропонується розглянути наступну концепцію сенсорної мережі для інтеграції в комунальному підприємстві: набір агентів-лічильників, які поділяються за типом (горячої та холодної вода, газу, та електроенергії); центр обробки даних (ЦОД); програмний комплекс встановлений в ЦОД для аналізу даних; портал для візуалізації даних.

Задля спрощення симуляції в дослідженні використовується власний створений агент, який через певні проміжки часу додає деяке ймовірне значення споживання відповідних ресурсів. Інакше кажучи, симулює споживання електроенергії, води та/або газу. Декілька лічильників різних типів об'єднуються в одну квартиру. Квартира (або дім) є логічною групою, які можна шаблонізувати. Наприклад стандартна квартира має по 1 лічильнику тепла, холодної води та електроенергії. Це стандартний набір лічильників в новобудовах в м. Києві від забудовника. Інший тип квартир може складатися з 1 лічильника тепла, по 1 лічильнику гарячої та холодної

води, а також 1 лічильника електроенергії. Наявність лічильника ГВ є обов'язковою через відсутність бойлера в такому типі квартир. Всього було створено 5 шаблонів квартир для забезпечення максимально реалістичних умов. Декілька квартир (будь-яких типів) можна об'єднати в будинок. Кожен будинок є відокремленим кластером агентів. На симуляційному стенді можна коригувати "масштаб" кластера задля перевірки працездатності мережі в умовах низьких, середніх та високих навантажень. Дані з агента-лічильника збираються автоматизованою програмованою системою на базі Kubernetes - потужної платформи для автоматизованого розгортання, управління та масштабування додатків. У даній архітектурі він слугує базою для управління лічильниками, в яких розгорнуті агенти-лічильники. Kubernetes надає можливість легко масштабувати систему, інтегруючи нові сенсори без переривання роботи, а також забезпечує стійкість до збоїв завдяки автоматичному перезапуску застосунків. Його механізм оркестрації дозволяє оптимізувати використання ресурсів за рахунок рівномірного розподілу навантаження, а ізоляція середовищ гарантує незалежність роботи різних типів лічильників. В свою чергу для збору та обробки даних існує програмний комплекс в ЦОД з системою моніторингу на базу Prometheus та Grafana. Prometheus виступає потужним інструментом для збору даних у реальному часі, забезпечуючи масштабованість системи та можливість обробки великих обсягів даних. Його використання time-series формату зберігання метрик дозволяє швидко отримувати доступ до даних, а інтеграція з Kubernetes спрощує налаштування моніторингу. Grafana, у свою чергу, забезпечує візуалізацію цих даних у вигляді інтерактивних дашбордів, які дозволяють оперативно аналізувати інформацію та виявляти аномалії. Завдяки можливостям налаштування графіків Grafana спрощує управління та моніторинг мережі, забезпечуючи кросплатформеність і простоту інтеграції. Таким чином, ці технології разом створюють надійну, гнучку та ефективну систему, яка

ідеально відповідає вимогам сучасної сенсорної мережі. Kubernetes, Prometheus та Grafana у поєднанні забезпечують ідеальну основу для побудови сенсорної мережі завдяки своїм численним перевагам. Порталом для візуалізації даних в тестовому кластері виступає Grafana, але в реальному житті скоріш за все у комунальних підприємств можуть бути власні портали, якими можуть користуватися споживачі комунальних послуг. Це дозволяє набагато зменшити затримку між фактичним споживанням послуг та часом, коли споживачі зможуть побачити скільки вони витратили. Іншими словами, така сенсорна мережа дозволяє будь-якому споживачу комунальних послуг відслідковувати свої витрати в реальному часі.

Таким чином в дослідженні симулюється система моніторингу лічильників споживання цілого будинку з налаштуванням типів, видів та кількості лічильників. Це рішення обумовлено багатьма факторами, зокрема відносною простотою інтеграції; легкою масштабованістю; зручністю використання.

Фінальні діаграма застосунку наведена в Додатку А.

3.3. Прототип сенсорної мережі комунального підприємства

З вищеописаної концепції впливає безпосередньо створення прототипу такої сенсорної мережі, яка буде задовольняти критеріям, описаним в п. 3.1 та використовувати концепцію описану в п. 3.2

Спочатку був створений агент-лічильник на мові Python. Ця мова була обрана через свою легкість та простоту. Використання бібліотеки **prometheus_client** дозволило швидко та легко підняти web-server, який генерує метрики споживання конкретної послуги та “віддає” їх Prometheus

серверу. Сама логіка агента-лічильника базується на поступовому інкременту значення спожитої послуги через умовно-випадкові часові проміжки на умовно-випадкову величину: кожному типу лічильників задані пари **consumption_ranges** - проміжок з цілих чисел, з-поміж яких псевдо випадковим чином обирається значення, яке додається до вже спожитої кількості послуг. Таблиця розподілу наведена нижче.

Таблиця 2.1

Тип лічильника	Границі умовно-випадкової генерації споживання
електричний	(1;4)
газовий	(0,4;0,8)
холодної води	(0,01;0,5)
гарячої води	(0,01;0,5)

Ці значення споживання є умовними й приведені лише для використання у тестовому стенді. Авжеж у реальному житті ці проміжки не є випадковими величинами й повністю спираються на значення, які зчитуються з агентів в поточний момент часу.

Сам виконуючий код агента запускається в середовищі Docker — сучасній платформі контейнеризації, яка забезпечує ізольоване, портативне та ефективне середовище для виконання додатків. При побудові образу контейнера Docker в середину встановлюється усе необхідне для роботи додатка, включаючи код, бібліотеки, залежності та налаштування, що дозволяє запускати цей образ у будь-якому середовищі, незалежно від

операційної системи хост-машини. Завдяки своїй легковажній архітектурі, контейнери запускаються значно швидше, ніж традиційні віртуальні машини, що зумовило використання саме цієї технології для побудови тестового стенду і забезпечило ефективне використання ресурсів. Контейнеризація також полегшує масштабування системи, дозволяючи швидко додавати нових агентів-лічильників для обробки великого навантаження та тестування додатку в великих масштабах.

За допомогою таких сучасних інструментів, як Terraform та Google Cloud Platform (GCP), була створена інфраструктура для тестового стенду сенсорної мережі. Terraform, як інструмент інфраструктури як коду (IaC), забезпечує автоматизацію процесів розгортання, управління та масштабування ресурсів. Завдяки його декларативному підходу вдалося створити відтворюване, добре структуроване середовище, яке легко адаптувати до змінних вимог проекту. Terraform дозволив швидко й ефективно налаштувати необхідні компоненти інфраструктури, включаючи віртуальні машини, мережеві ресурси та бази даних, забезпечуючи при цьому контроль версій і можливість аудиту змін у конфігурації.

Google Cloud Platform виступила основною платформою для розгортання стенду, надаючи масштабовані, надійні та високопродуктивні сервіси. GCP забезпечила просте інтегрування Kubernetes-кластера для управління контейнеризованими додатками, а також використання сервісів зберігання даних і систем моніторингу. Завдяки низькій затримці доступу до ресурсів і високій пропускну здатності мережі, GCP ідеально підходить для обробки великого обсягу даних, що надходять від сенсорів у реальному часі. Крім того, платформа забезпечує розширені можливості безпеки, такі як шифрування даних і управління доступом, що дозволяє підтримувати високий рівень захисту інфраструктури. Хоч ресурси GCP здебільшого використовувалися, як інфраструктура для запуску великого кластеру

агентів-лічильників, саме ця платформа рекомендується для використання в якості ЦОД для системи моніторингу з вищезгаданих причин. Комбінація Terraform та GCP дозволяє створювати стабільне, масштабоване та гнучке середовище, яке відповідає потребам тестового та “бойового” стенду. Ця методологія забезпечує ефективну взаємодію всіх компонентів сенсорної мережі, дозволяючи тестувати й оптимізувати її роботу у динамічних умовах.

Під час запуску агентів-лічильників та масштабуванні кластеру виникла вагома проблема - оптимізація ресурсів, які використовує агент. Незважаючи на дуже невеликий розмір програми, лінійність та простоту його завдання, він використовує близько 20МБ оперативної пам'яті (RAM) та 5% ядра комп'ютера (node CPU). Хоча ці значення можуть здаватися невеликими, при масштабуванні кластера до 100 агентів (що є аналогом всього близько 20 квартир, в кожній з яких по 5 лічильників різних типів), вони займають вже 1 ціле ядро комп'ютера та 2ГБ оперативної пам'яті.

Для подолання цієї перепони код агента був переписаний на мову Go (або Golang), яка відома своєю ефективністю у використанні ресурсів, особливо в багатопотокових системах. Go забезпечує більш низький рівень споживання пам'яті та оптимізує використання процесорного часу завдяки своїм легковаговим горутинам, що дозволяють запускати тисячі паралельних задач із мінімальними витратами ресурсів.

Переписування програми дозволило досягти значних покращень у продуктивності. Тестування показало, що після оптимізації агент почав використовувати лише близько 5 МБ оперативної пам'яті на процес та менше 1% потужності ядра CPU. Це дозволило знизити загальне навантаження на кластер-систему, забезпечуючи можливість

масштабування кластеру до 680 і більше агентів без необхідності значного збільшення апаратних ресурсів.

Характеристики кластера представлені у таблиці нижче.

Таблиця 2.2

Тип хоста	RAM	CPU	Disk space	Максимальна кількість агентів	Кількість хостів	Версія Kubernetes
n2-standard-2	7.5GB	2	50	110	8	1.30

Кількісні та якісні характеристики тестового стенду в розрізі лічильників:

Таблиця 2.3

Тип квартири	Встановлені лічильники	Загальна кількість лічильників на квартиру	Кількість квартир	Загальна кількість лічильників в кластері	Загальна кількість лічильників в системі
A	Електричний ; ЛХВ; ЛГВ; газу	4	64	256	640
B	Електричний ;ЛХВ	2	48	96	
C	Електричний ;ЛХВ; газу	3	64	192	
D	ЛХВ; газу	2	48	96	

Хоч лічильників всього 640, загальна кількість досягла 708. Це пов'язано з тим, що 68 подів належать до вбудованих систем моніторингу GCP, а також програмного комплексу моніторингу на базі Grafana & Prometheus. Задля спрощення тестового стенду, платформа моніторингу та агенти знаходяться в одному кластері, а отже поділяють однакові хости. Авжеж, в реальному середовищі платформа моніторингу може обмежитися одним або двома хостами задля забезпечення найкращої стабільності мережі.

3.4. Вплив сенсорної мережі на операційну діяльність підприємства

Впровадження сенсорних мереж значно оптимізує процеси управління ресурсами, забезпечуючи автоматизований збір та аналіз даних у режимі реального часу, як в системах Інтернета Речей (IoT). Завдяки цьому підприємство отримує повну прозорість у споживанні послуг будь-яким суб'єктом нагляду. Інформація з сенсорів дозволяє точно виявляти місця витоків, перевитрат або аварійних ситуацій. Наприклад, автоматичний моніторинг може миттєво сигналізувати про пошкодження в мережі водопостачання або витoki газу, що значно скорочує час реагування, а потенційні механізми самоусунення значно підвищують безпечність комунальної інфраструктури. Це також теоретично дозволяє налаштовувати роботу інфраструктури відповідно до фактичного попиту, зменшуючи надмірне навантаження на мережі, що особливо корисно в умовах жорсткої економії в Україні.

Окрім того сенсорні мережі сприяють зниженню витрат за рахунок автоматизації процесів, зменшення потреби у регулярному фізичному

огляді об'єктів та раннього виявлення потенційних проблем. Наприклад, використання розумних лічильників мінімізує витрати людських ресурсів на ручний збір показників і знижує кількість помилок, пов'язаних із людським фактором. Це вже частково використовується для дистанційного зчитування показників лічильників споживання електроенергії, але також можна розширити на інші типи лічильників за наявності відповідних конструкторських рішень. Завдяки точним даним, підприємства можуть оптимізувати графіки технічного обслуговування та спрямовувати ресурси на вирішення найбільш критичних завдань. Додатково, зменшення втрат ресурсів, таких як витoki води чи енергії, дозволяє підприємству зекономити значні кошти, що відобразиться у платіжках кінцевих споживачів. У довгостроковій перспективі сенсорні мережі допомагають досягти високої економічної ефективності за рахунок оптимізації витрат на ремонт, зниження втрат та покращення управління ресурсами. Складні моделі машинного навчання дозволять платформі передбачати споживання та планувати технічне обслуговування.

Загалом використання сенсорних мереж підвищує якість послуг, наданих населенню, завдяки швидшому реагуванню на збої та більшій прозорості процесів. Мешканці отримують своєчасну та точну інформацію про споживання ресурсів через інтерактивну платформу, що дозволяє їм краще контролювати свої витрати. Наприклад, мобільні додатки інтегровані з системою моніторингу можуть надавати інформацію про споживання води, електроенергії чи газу у реальному часі, спрощуючи процес сплати та подання заявок на обслуговування. Крім того, автоматичний збір даних зменшує ймовірність неточностей у рахунках, що сприяє підвищенню довіри споживачів до комунального підприємства. Зручність, оперативність та прозорість послуг є ключовими чинниками покращення взаємодії між

підприємством і населенням, що позитивно впливає на репутацію та ефективність роботи підприємства.

3.5. Аналіз економічної доцільності впровадження сенсорних мереж

Впровадження сенсорних мереж у комунальних підприємствах є ключовим елементом цифрової трансформації галузі. Сенсорні мережі, як складова Інтернету речей (IoT), дозволяють здійснювати автоматизований збір, передачу та аналіз даних у режимі реального часу, що сприяє підвищенню операційної ефективності та якості послуг. Однак для прийняття обґрунтованих управлінських рішень необхідно провести детальний аналіз економічної доцільності такого впровадження.

Основні аспекти аналізу

Витрати на впровадження та обслуговування

Витрати на впровадження сенсорних мереж включають:

- **Закупівля обладнання:** датчики (для вимірювання витрат води, газу, електроенергії), контролери, комунікаційні пристрої.
- **Програмне забезпечення:** системи для збору, зберігання та аналізу даних. Використання платформ з відкритим кодом, таких як Kubernetes, Prometheus та Grafana, може зменшити витрати на ліцензування.
- **Інтеграція з існуючою інфраструктурою:** адаптація нових систем до поточних операційних процесів підприємства.

- **Навчання персоналу:** підготовка співробітників до роботи з новими технологіями.

- **Технічна підтримка та кібербезпека:** забезпечення захисту даних та запобігання несанкціонованому доступу.

Після впровадження, щорічні витрати на обслуговування включають:

- **Заміна та оновлення обладнання:** з урахуванням терміну служби сенсорів та інших компонентів.

- **Оновлення програмного забезпечення:** підтримка актуальності та безпеки систем.

- **Підтримка кібербезпеки:** постійний моніторинг та оновлення систем захисту.

Загальні витрати можуть складати від 10% до 15% річного бюджету підприємства на етапі впровадження та близько 5% цих витрат щорічно на обслуговування.

Очікувані економічні вигоди

Впровадження сенсорних мереж приносить такі вигоди:

- **Зменшення витрат на технічне обслуговування:** завдяки автоматизації процесів та переходу від реактивного до проактивного обслуговування.

- **Раннє виявлення витоків та несправностей:** зменшення втрат ресурсів та уникнення аварійних ситуацій.

- **Оптимізація використання ресурсів:** ефективніше управління розподілом та споживанням.

- **Покращення обліку та білінгу:** точніші дані зменшують помилки у виставленні рахунків та підвищують рівень збору платежів.

- **Підвищення задоволеності споживачів:** покращення якості послуг та швидкості реагування на проблеми.

Згідно з дослідженнями міжнародних організацій, термін окупності проектів з впровадження сенсорних мереж становить від 3 до 5 років, залежно від масштабу та початкових інвестицій. У перший рік використання можливе зменшення втрат ресурсів до 30% завдяки своєчасному реагуванню на аварійні ситуації.

Моделі фінансування

Фінансування впровадження сенсорних мереж може здійснюватися через:

- **Бюджетне фінансування:** виділення коштів з місцевих або державних бюджетів.
- **Гранти та субсидії:** фінансова підтримка від міжнародних організацій (ЄС, Світовий банк, USAID).
- **Державно-приватне партнерство (ДПП):** залучення приватних інвестицій в обмін на часткове володіння або участь у прибутках.
- **Кредитування та лізинг:** використання фінансових інструментів для поступового погашення вартості впровадження.
- **Підвищення тарифів:** за умови прозорості звітності про використання додаткових коштів.

Гібридні моделі, що поєднують декілька джерел фінансування, дозволяють зменшити фінансове навантаження на підприємства у перші роки реалізації проекту.

Формування фінансової моделі

Для створення стійкої фінансової моделі необхідно:

- **Детальні розрахунки витрат та вигод:** врахування початкових інвестицій, операційних витрат, прогнозованих економій та додаткових доходів.
- **Врахування специфіки підприємства:** масштаб діяльності, технічний стан інфраструктури, рівень підготовки персоналу.
- **Аналіз ризиків:** оцінка потенційних ризиків та розробка стратегій їх мінімізації.
- **Розробка довгострокового плану окупності:** з урахуванням можливих змін у технологіях та ринку.

Такий підхід дозволяє комунальним підприємствам розробити стратегії модернізації, що підвищують їх ефективність та економічну стійкість.

В свою чергу впровадження сенсорних мереж у комунальних підприємствах має не менш значний позитивний вплив на соціальну інфраструктуру та підвищує якість життя населення. Системи моніторингу та управління ресурсами в режимі реального часу сприяють:

- **Безперебійному постачанню послуг:** зменшується кількість аварійних ситуацій, що підвищує надійність інфраструктури.
- **Покращенню екологічної ситуації:** оптимізація використання ресурсів призводить до зниження викидів та збереження природних ресурсів.
- **Підвищенню комфорту мешканців:** швидке реагування на проблеми забезпечує високий рівень обслуговування.

- **Залученню громадськості до управління ресурсами:** доступ до інформації про споживання стимулює більш відповідальне ставлення до використання комунальних послуг.

За даними досліджень [10], впровадження інтелектуальних систем управління в містах Європи призвело до підвищення рівня задоволеності населення комунальними послугами на 20–30%. Це пов'язано з тим, що сенсорні мережі дозволяють оперативно вирішувати проблеми, які раніше вимагали значного часу та ресурсів.

Ефективне впровадження сенсорних мереж потребує тісної взаємодії з місцевими громадами та стейкхолдерами. Основні аспекти такої взаємодії включають:

- **Прозорість та комунікація:** інформування населення про цілі, етапи та результати впровадження нових технологій.
- **Залучення громадськості:** проведення публічних обговорень, збору зворотного зв'язку та врахування потреб мешканців.
- **Співпраця зі стейкхолдерами:** взаємодія з місцевими органами влади, бізнесом та неурядовими організаціями для координації дій та обміну ресурсами.
- **Освіта та підвищення обізнаності:** проведення освітніх програм для населення щодо користі та способів використання нових технологій.

Залучення громадськості сприяє підвищенню довіри до комунальних підприємств та підтримці інноваційних проектів. Досвід міст, які успішно реалізували подібні проекти, показує, що активна взаємодія зі стейкхолдерами може зменшити опір змінам та прискорити процес впровадження [11].

3.6 Оцінка прототипу сенсорної мережі за наведеними критеріями

Маючи проміжні результати роботи тестового стенду, можна перейти до аналізу створеного прототипу сенсорної мережі за наведеними вище критеріями.

1. Надійність та безперервність роботи

Розроблений прототип сенсорної мережі демонструє потенціал для забезпечення надійності та безперервності роботи завдяки використанню контейнеризації (Docker) та оркестрації (Kubernetes). Використання хмарної інфраструктури Google Cloud Platform сприяє стабільності та масштабованості системи.

Однак слід врахувати, що у реальному середовищі фізичні сенсори можуть піддаватися впливу зовнішніх факторів, таких як погодні умови, механічні пошкодження або знос обладнання. Це може призвести до збоїв у роботі мережі або некоректних даних, що важно спрогнозувати під час тестування.

Крім того, мережеве з'єднання в реальних умовах може бути нестабільним або недоступним у віддалених регіонах, що вплине на здатність мережі забезпечувати постійний зв'язок між вузлами. Таким чином, надійність системи в реальному середовищі може бути нижчою, ніж показано в тестовому стенді.

2. Точність даних та швидкість обробки

Переписування агента-лічильника на мові Go значно знизило споживання ресурсів і підвищило швидкість обробки даних у тестовому

середовищі, що доводить той факт, що програмний код лічильника має бути якомога меншим та оптимізованим. Використання HTTP веб-сервера на базі Prometheus зумовлено простотою та легкістю використання, втім HTTP протокол є компромісним варіантом через середній розмір текстового пакету даних, який передається. Для використання у реальному середовищі краще адаптувати платформу для роботи із gRPC протоколом. Використання Prometheus і Grafana забезпечує ефективний збір та візуалізацію метрик. За допомогою останнього можна дуже зручно й легко налаштовувати метод та форму візуалізації даних оператором. Авжеж, Grafana також може використовуватися кінцевими споживачами, але це є недоцільним через необхідність дуже чітко відокремлювати кордони доступів користувачів до застосунків візуалізації. Створення окремого портала, який може інтегруватись із Grafana/Prometheus з одного боку та системою авторизації та ідентифікації споживачів комунальних послуг з іншого дозволяє вирішити цю проблему.

Також слід зазначити, що у реальному середовищі точність даних залежатиме не лише від програмного забезпечення, але й від якості фізичних лічильників. Крім того, затримки в передачі даних через нестабільні мережеві з'єднання можуть вплинути на швидкість обробки та актуальність інформації.

3. Операційна ефективність

Автоматизація та оптимізація ресурсів у тестовому стенді демонструють потенціал для зниження операційних витрат. Використання інструментів інфраструктури як коду спрощує управління системою моніторингової платформи, а можливості групової оркестрації агентами-лічильниками є доволі великими. Наприклад встановлення додаткових лічильників, які агрегують дані на рівні цілого будинку, а не лише окремих

лічильників, дозволить візуалізувати дані на різних рівнях в залежності від потреб користувачів та споживачів.

Втім слід зазначити, що з переходом від стандартних лічильників до “розумних агентів-лічильників” із здатністю дистанційного зчитування даних буде доволі відчутним для комунальних підприємств. Витрати на створення, заміну та підтримку великої кількості фізичних пристроїв, а також навчання персоналу може стати вагомою перешкодою для підприємств. Це може зменшити економічну доцільність впровадження системи.

4. Масштабованість

Тестовий стенд показав, що система може масштабуватися до сотень агентів без значного збільшення апаратних ресурсів. Використання Kubernetes дозволяє ефективно керувати розподілом навантаження.

Однак при переході до реального середовища масштабованість може бути обмежена фізичними та логістичними факторами. Встановлення великої кількості сенсорів вимагає значних інвестицій часу та коштів. Можуть виникнути проблеми з забезпеченням енергопостачання та підключенням до мережі в віддалених або важкодоступних місцях. Крім того, централізоване управління даними від великої кількості пристроїв може створити "вузькі місця" в системі, що вимагатиме додаткових ресурсів на оптимізацію та планування архітектури сенсорно мережі в конкретних випадках.

Висновки

Розроблений прототип сенсорної мережі демонструє значні переваги в контексті тестового стенду, включаючи високу ефективність, низьке споживання ресурсів та потенціал для автоматизації процесів. Проте при аналізі можливості впровадження цієї мережі в реальному середовищі виникають певні виклики:

- **Надійність системи** може бути знижена через зовнішні фактори, які впливають на фізичні сенсори, та нестабільність мережевих з'єднань.
- **Точність даних** залежатиме від якості та стану фізичних лічильників, що може вимагати додаткових витрат на обслуговування та калібрування.
- **Операційна ефективність** може бути зменшена через непередбачувані витрати на підтримку фізичної інфраструктури та вирішення технічних проблем.
- **Масштабованість системи** в реальних умовах може бути обмежена ресурсами та логістичними складнощами при встановленні та підтримці великої кількості сенсорів.

Таким чином, хоча прототип демонструє технологічну можливість створення ефективної сенсорної мережі, перехід до реального середовища потребує більш детального та експертного погляду на планування, врахування можливих ризиків та розробки стратегій їх мінімізації. Необхідно провести пілотні проекти в реальних умовах, щоб оцінити практичність та економічну доцільність впровадження такої системи. Крім того, слід залучити стейкхолдерів та місцеві громади до процесу впровадження, щоб врахувати їх потреби та очікування. Це допоможе

підвищити рівень прийняття технології та забезпечить успішну реалізацію проекту.

Тим не менш, створений прототип мережі як найкраще підкреслює можливості технологічного розвитку ІТ технологій в контексті використання в комунальній сфері. Перехід до автоматизації та цифровізації в Україні спостерігається на багатьох рівнях й рухається значними темпами. Подібні до наведених в дослідженні розробки висвітлюють потенційні зони росту для цього процесу. В свою чергу залучення провідних спеціалістів та коштів з боку держави або приватних компаній

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Мета стартапу – створення сенсорної мережі для комунального підприємства, яка забезпечить автоматизований моніторинг, контроль і оптимізацію витрат ресурсів (вода, електроенергія, тепlopостачання). Це дозволить підприємствам знижувати операційні витрати, підвищувати ефективність роботи і забезпечувати прозорість у взаємодії з клієнтами.

Цілі та місія проекту:

1. Цілі:

- Розробка високотехнологічної платформи на основі сенсорних мереж.
- Підвищення рівня автоматизації операцій у комунальних підприємствах.
- Забезпечення точного та своєчасного збору даних для прийняття рішень.

2. Місія:

- Забезпечення сталого розвитку комунальних підприємств через впровадження інноваційних технологій.
- Зменшення втрат ресурсів і негативного впливу на екологію.

Опис ідеї стартапу

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Автоматизована сенсорна мережа для моніторингу та аналізу ресурсів.	Контроль споживання води, електроенергії, тепла у комунальних підприємствах.	- Зменшення витрат за рахунок виявлення втрат ресурсів. - Підвищення ефективності роботи систем.
Інтеграція сенсорних даних у платформу з візуалізацією та звітністю.	Оптимізація технічного обслуговування через прогнозування несправностей.	- Зниження операційних витрат на ремонт. - Прозорість для клієнтів і партнерів.
Аналіз і передбачення даних через AI-модулі.	Прогнозування споживання ресурсів для планування та аналітики.	- Зменшення пікових навантажень на інфраструктуру. - Підвищення точності фінансового планування.

Таблиця 4.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї
проекту

№ п / п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проєкт	Конкурент 1 (Honeywell)	Конкурент 2 (Siemens)	Конкурент 3 (Xylem Inc.)	W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
1	Точність моніторингу витоків води	Висока (95%)	Середня (80%)	Висока (90%)	Низька (70%)	Конкурент 3	-	Мій проєкт
2	Інтеграція з системами IoT	Повна	Часткова	Часткова	Відсутня	Конкурент 3	Конкурент 1, 2	Мій проєкт
3	Вартість впровадження	Середня	Низька	Висока	Середня	Мій проєкт, Конкурент 2	Конкурент 3	Конкурент 1
4	Доступність технологій	Висока	Висока	Середня	Низька	Конкурент 3	Конкурент 2	Мій проєкт, Конкурент 1
5	Швидкість обробки даних	Висока	Низька	Середня	Низька	Конкурент 1, 3	Конкурент 2	Мій проєкт

- Honeywell — компанія, яка пропонує рішення для моніторингу та автоматизації в комунальному секторі, але спеціалізується більше на промислових системах із середньою точністю.

- Siemens — глобальний постачальник технологій, які можуть мати високу точність, але їхня інтеграція з IoT часткова, а вартість — вища через масштабність рішень.

- Xylem Inc. — виробник рішень для водної інфраструктури, який має меншу точність і доступність технологій у порівнянні з вашим стартапом.

Проект має значні конкурентні переваги, особливо у точності, швидкості обробки даних і можливості повної інтеграції з IoT-системами, що робить його більш привабливим для комунальних підприємств.

Таблиця 4.3

Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматизована сенсорна мережа для моніторингу ресурсів	IoT-сенсори, протоколи передачі даних (LoRaWAN)	Наявні, потребують адаптації	Висока, доступні через постачальників
2	Інтеграція даних у платформу	Програмне забезпечення для аналітики (на базі Grafana)	Наявні, необхідне налаштування	Помірна, доступні open-source рішення
3	Аналіз і передбачення через AI-модулі	Алгоритми машинного навчання (TensorFlow)	Наявні, потребують налаштування та оптимізації	Висока, доступні через загальнодоступні інструменти

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: проект буде реалізований з використанням IoT-сенсорів для збору даних, інтеграції на платформі для аналізу (на основі Grafana) та алгоритмів машинного навчання для передбачення споживання ресурсів.

Висновок: проект технологічно здійснений, оскільки необхідні рішення вже існують на ринку. Основний фокус слід спрямувати на налаштування та інтеграцію цих технологій в єдину платформу для забезпечення потреб комунальних підприємств.

Таблиця 4.4

Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5 (Honeywell, Siemens, Xylem Inc., Schneider Electric, Emerson)
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	~1,5 млрд грн щорічно у секторі моніторингу ресурсів
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає (за рахунок цифровізації інфраструктури)
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі інвестиційні витрати, регуляторні вимоги
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ISO 50001, стандарт IP68 для обладнання

Продовження таблиці 4.4

6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15-20% залежно від масштабу проекту
---	---	-------------------------------------

Висновок: ринок моніторингу ресурсів є перспективним для входження, враховуючи зростаючий попит на автоматизацію та екологічну ефективність. Основними викликами є високі стартові витрати та необхідність відповідності міжнародним стандартам.

Таблиця 4.5

Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці ці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Базова потреба у контролі ресурсів	Комунальні підприємства, що управляють інфраструктурою міста	Висока увага до точності, економії ресурсів, відповідності нормативним стандартам	Висока точність, інтеграція з існуючими системами, відповідність стандартам ISO 50001

Продовження таблиці 4.5

2	Потреба в автоматизації процесів	Приватні компанії з управління нерухомістю	Готовність до інвестицій за умови зниження операційних витрат	Простота встановлення, прогнозування витрат і аналітика
3	Потреба в прогнозуванні несправностей	Інженерно-технічні служби міських підприємств	Орієнтація на довгострокову економію та уникнення аварій	Надійність, швидка обробка даних, підтримка в реальному часі

Висновок: стартап орієнтується на три основні сегменти клієнтів, які мають схожі вимоги до точності та автоматизації, але відрізняються рівнем очікувань щодо інтеграції, зручності використання та довгострокових переваг.

Таблиця 4.6

Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція від великих корпорацій	Потужні компанії, як-от Siemens, можуть запропонувати схожі рішення зі зниженою ціною завдяки економії масштабу.	Розробка унікальних функцій, які забезпечують інтеграцію з IoT та прогнозування.
2	Високі початкові витрати впровадження	Комунальні підприємства можуть відмовитися через високу вартість інтеграції нового обладнання.	Розробка гнучких фінансових умов, як-от лізинг чи довгострокова оренда.

Продовження таблиці 4.6

3	Низький рівень цифровізації клієнтів	Клієнти можуть не мати достатніх технічних знань або ресурсів для впровадження цифрових рішень.	Проведення навчальних програм для персоналу клієнтів та забезпечення технічної підтримки.
---	--------------------------------------	---	---

Таблиця 4.7

Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростання попиту на цифрові рішення	Підвищення інтересу комунальних підприємств до автоматизації та моніторингу ресурсів.	Активне просування рішень через тематичні конференції, виставки та демонстраційні проекти.
2	Інтеграція з "розумними містами"	Багато міст впроваджують концепцію "розумних міст", що включає автоматизацію комунальних послуг.	Співпраця з муніципалітетами для інтеграції в ширші міські проекти.
3	Державні ініціативи та гранти	Підтримка держави в модернізації інфраструктури через грантові програми чи субсидії.	Активна участь у державних програмах та використання фінансування для масштабування.

Висновок: компанія повинна фокусуватися на унікальності свого продукту, підтримці клієнтів та співпраці з державними програмами для успішного подолання загроз і використання можливостей.

Таблиця 4.8

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції: олігополія	Наявність кількох великих гравців, які контролюють значну частину ринку	Створення унікальних послуг для вирізнення серед конкурентів
2. Рівень конкурентної боротьби: національний	Конкуренція в межах країни серед підприємств галузі	Просування через локальні заходи, співпраця з державними програмами
3. Галузева ознака: внутрішньогалузева	Змагання між компаніями, що пропонують схожі послуги	Інновації у продуктах, вдосконалення IoT-рішень
4. Вид конкуренції за товарами: товарно-видова	Конкуренція між схожими продуктами, що відрізняються деталями	Покращення інтеграції з клієнтськими системами, зниження витрат
5. Характер конкурентних переваг: цінова	Компанії пропонують продукти за нижчими цінами	Оптимізація витрат, акцент на довгострокові фінансові переваги

Продовження таблиці 4.8

6. Інтенсивність: марочна	Бренди конкурентів мають сильний вплив на вибір клієнтів	Розробка стратегії для посилення бренду, акцент на довірі клієнтів
------------------------------	---	--

Висновок: аналіз конкурентного середовища показує, що для успішного позиціонування на ринку стартап повинен акцентувати увагу на унікальності, інноваціях, локальній співпраці та створенні сильного бренду.

Таблиця 4.9

Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари- замінники
Опис	Honeywell, Siemens, Xylem Inc.	Стартапи в галузі IoT для комунального сектору, локальні компанії	Постачальники сенсорів та IoT- платформ	Комунальні підприємства, муніципальні установи	Інші види рішень для моніторингу ресурсів, ручний облік
Бар'єри входу	- Висока точність у вже існуючих продуктів. - Сильний вплив брендів.	Високі витрати на розробку, складність інтеграції	Обмеження доступу до специфічних технологій	Обмежений бюджет, залежність від ціни	Низька вартість, простота використання

Продовження таблиці 4.9

Фактор впливу	Ціна, якість обслуговування	Інновації, швидкість виходу на ринок	Можливість диктувати умови закупівель	Чутливість до ціни, потреба в ефективності	Економія коштів, спрощення роботи
Висновки	Інтенсивна конкуренція між великими гравцями	Потенційна загроза від нових гравців	Постачальники мають вплив, але є можливість диверсифікації	Клієнти чутливі до вартості та інновацій	Розробка більш гнучких та дешевших рішень

Висновок:

1. Інтенсивність конкуренції: ринок характеризується високим рівнем конкуренції через сильних гравців, таких як Honeywell, Siemens, та Xylem Inc.
2. Потенційні конкуренти: є ризик виходу нових стартапів із локальними рішеннями, але бар'єри входу досить високі через технологічну складність.
3. Вплив постачальників: хоча постачальники мають значний вплив, є можливість диверсифікувати їхній вибір, що зменшує ризики залежності.
4. Клієнти: Вони орієнтуються на ціну та ефективність продуктів, що створює можливість для диференціації та гнучкої цінової політики.
5. Товари-замінники: загроза від них відносно низька через відсутність аналогічної функціональності у дешевших рішеннях.

Таблиця 4.10

Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Точність моніторингу	Висока точність (95%) забезпечує конкурентну перевагу в порівнянні з основними конкурентами.
2	Інтеграція з IoT-системами	Повна інтеграція дозволяє ефективно використовувати сучасні технології та адаптуватися до потреб ринку.
3	Швидкість обробки даних	Висока швидкість (реальний час) надає змогу уникати затримок у прийнятті рішень та оперативно реагувати.

Таблиця 4.11

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Модель сенсорної мережі комунального підприємства»

№п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали -20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ... (назва підприємства)						
			-- 3	-- 2	-- 1	0	++1	++2	++3
1	Точність моніторингу витоків	18							++
2	Інтеграція IoT	20							++
3	Вартість впровадження	15					++		

Швидкість обробки даних	19						+	++
-------------------------	----	--	--	--	--	--	---	----

Таблиця 4.12

SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони (Strengths):	Слабкі сторони (Weaknesses):
1. Висока точність моніторингу ресурсів (95%).	1. Висока початкова вартість впровадження.
2. Повна інтеграція з IoT-системами.	2. Обмежена доступність фахівців для технічної підтримки.
3. Швидкість обробки даних завдяки AI-модулям.	3. Необхідність адаптації до різних типів інфраструктур.
4. Простота масштабування для великих об'єктів.	
Можливості (Opportunities):	Загрози (Threats):
1. Зростання попиту на автоматизацію в комунальних системах.	1. Конкуренція зі сторони міжнародних компаній (Siemens).
2. Підвищення вимог до прозорості витрат ресурсів.	2. Зменшення бюджету на модернізацію у комунальній сфері.
3. Можливість співпраці з державними програмами.	3. Невизначеність економічних умов.
4. Розширення на ринки приватного сектору.	

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Проведення переговорів з державними підприємствами для співфінансування	Висока	6 місяців
2	Пошук інвесторів для розширення фінансування	Середня	12 місяців
3	Маркетингова кампанія для залучення клієнтів із приватного сектору	Висока	8 місяців

Обрана альтернатива: Альтернатива №1 — Проведення переговорів з державними підприємствами для співфінансування.

Переваги:

- Простота отримання ресурсів через державні програми.
- Мінімальні строки реалізації.

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (комплекс заходів)	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Впровадження через комунальні підприємства.	Висока	6-12 місяців
2	Залучення інвесторів для масштабування.	Середня	12-18 місяців
3	Запуск у партнерстві з міжнародними корпораціями.	Низька	18-24 місяці
4	Проведення пілотного проекту в одному регіоні.	Висока	3-6 місяців
5	Продаж ліцензії для великих підприємств.	Середня	12-15 місяців

Обрана альтернатива: впровадження через комунальні підприємства.

Таблиця 4.15

Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи	Готовність споживачі в сприйняти продукт	Орієнтовний попит	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
1	Комунальні підприємства	Висока	Високий	Помірна	Висока
2	Промислові підприємства	Середня	Середній	Висока	Середня
3	Енергетичні компанії	Висока	Середній	Низька	Висока
4	Водоканали	Висока	Високий	Помірна	Висока
5	Логістичні компанії	Середня	Низький	Висока	Середня

Які цільові групи обрано:

Комунальні підприємства: Ця група має високий рівень готовності до впровадження продукту, оскільки автоматизація процесів контролю ресурсів дозволяє зменшити витрати та підвищити ефективність роботи. Високий попит у цьому сегменті обумовлений потребою у точному моніторингу та прогнозуванні споживання.

Водоканал: Враховуючи високу готовність споживачів, значний орієнтовний попит та помірну конкуренцію, ця група є стратегічно важливою для запуску проєкту. Система дозволяє зменшити витрати на ремонт і виявлення втрат води, що є ключовою потребою водоканалів.

Енергетичні компанії: Висока готовність до прийняття інноваційних рішень та низька інтенсивність конкуренції роблять цей сегмент перспективним для розвитку проєкту. Система допоможе в прогнозуванні пікових навантажень та оптимізації споживання енергії.

Таблиця 4.16

Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Впровадження через комунальні підприємства.	Концентрація на одному сегменті	Точність та швидкість даних	Лідерство у витратах

Продовження таблиці 4.16

2	Запуск пілотного проєкту	Охоплення вузького сегменту	Простота інтеграції з існуючими системами	Спеціалізація
3	Залучення міжнародних інвесторів	Масштабування	Інноваційні рішення	Диверсифікація
4	Розробка партнерської програми	Залучення нових партнерів	Гнучкість системи	Лідерство у партнерствах
5	Продаж ліцензій	Масштабування	Унікальна технологія	Диверсифікація

Таблиця 4.17

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових клієнтів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристик и товару конкурентів, і які?	Стратегія конкурентно ї поведінки
1	Так, нова модель сенсорної мережі	Шукати нових клієнтів серед комунальних підприємств	Ні, акцент на унікальні характеристики	Стратегія лідерства в інноваціях

Продовження таблиці 4.17

2	Ні, конкуренти присутні	Частково забирати клієнтів у Honeywell	Так, враховуючи інтеграцію IoT	Стратегія виклику лідера
3	Ні, конкуруємо на існуючому ринку	Забирати клієнтів за рахунок нижчої вартості	Ні, розвиваємо власні інноваційні технології	Стратегія зниження витрат
4	Так, на окремих підсегментах ринку	Розширювати базу клієнтів у нових сегментах	Так, інтегруємо деякі характеристики конкурентів	Комбінована стратегія
5	Частково	Залучати нових клієнтів через партнерства	Ні, створюємо принципово новий продукт	Стратегія спеціалізації

Визначення стратегії позиціонування

№ п / п	Вимоги до товару / цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають формувати комплексну позицію власного проекту (три ключові)
1	Висока точність, прозорість, низька вартість	Лідерство у витратах	Інтеграція IoT, швидкість обробки даних, зручність використання	Ефективність, інноваційність, доступність
2	Зручність в обслуговуванні та інтеграції	Концентрація на сегменті	Сумісність з існуючими системами, оптимізація ресурсів	Надійність, економічність, прозорість
3	Низький рівень технічного обслуговування	Спеціалізація на вузьких сегментах	Простота обслуговування, автономність роботи	Простота, автономність, інтуїтивність
4	Високий рівень автоматизації	Лідерство в інноваціях	Розширена аналітика, автоматизовані звіти, прогнозування	Технологічність, автоматизація, прогнозування
5	Екологічність та енергоефективність	Диверсифікація	Екологічні матеріали, низьке споживання енергії	Екологічність, енергоефективність, стабільність

Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Точність даних	Зменшення витрат ресурсів	Висока точність моніторингу, доступність технологій
2	Ефективність управління ресурсами	Прогнозування споживання	Автоматизація через AI
3	Зниження витрат	Економія операційних витрат	Інтеграція з IoT
4	Легкість впровадження	Швидке інтегрування у поточні системи	Простота обслуговування

Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Задовольняє потребу комунальних підприємств у моніторингу ресурсів, зменшенні втрат, автоматизації обліку.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	<p>1. Надійність: Система є програмним застосунком й розміщується на сервері.</p> <p>2. Енергоефективність: Сенсори споживають мінімальну кількість енергії.</p> <p>3. Точність: Пристрої забезпечують високий рівень точності вимірювань – до 95% для водопостачання та до 98% для електроенергії, що дозволяє мінімізувати похибки у збиранні даних.</p>	Модульна конструкція для легкої інтеграції та масштабування	Висока точність ($\leq 1\%$), тривалий термін служби (до 10 років), економічна ефективність, оптимізація ресурсів.
	<p>4. Сумісність: Система підтримує інтеграцію з існуючими системами обліку та IoT-платформами.</p> <p>5. Швидкість обробки даних: Усі показники зчитуються в реальному часі, а передача даних до хмарного сервісу займає не більше 1 секунди.</p>		

	6. Якість: Система відповідає міжнародним стандартам якості та безпеки (ISO 9001, ISO 27001).		
III. Товар ізпідкріпленням	Якість: Відповідає стандартам ISO, сертифікація CE, внутрішні тести на надійність.		
	Пакування: Екологічна упаковка із зазначенням характеристик продукту.		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
III. Товар ізпідкріпленням За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патенти: Захищена технологія інтеграції сенсорів. Інтелектуальна власність: Запатентовані алгоритми обробки даних. Фізичний захист: Унікальні модулі збору даних із серійними номерами.	До продажу: - Забезпечення гарантії на 5 років. - Сервісна підтримка 24/7.		
	Після продажу: - Технічне обслуговування та оновлення програмного забезпечення протягом 10 років. - Навчання персоналу клієнта.		

Таблиця 4.21

Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	500-1000 грн	Високий	600-900 грн
2	300-700 грн	Середній	400-600 грн
3	150-400 грн	Низький	200-300 грн

Додаткові аспекти:

- Сегментована цінова політика: Ціна залежить від розміру підприємства (малий, середній, великий бізнес).
- Гнучкість цін: Надання знижок для клієнтів із довгостроковими договорами.
- Індивідуальні пропозиції: Спеціальні умови для ключових клієнтів.

Таблиця 4.22

Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Прямі закупівлі комунальними підприємствами	Постачання, інтеграція в існуючі системи	Низька	Прямий продаж

Продовження таблиці 4.22

2	Співпраця з посередниками	Розширення клієнтської бази	Середня	Залучення дистриб'юторів
3	Онлайн-продажі	Доступ до віддалених клієнтів	Висока	Використання e-commerce платформ

Додаткові деталі:

- Регіональна підтримка: Відкриття представництв у ключових регіонах.
- Партнерські програми: Співпраця з галузевими асоціаціями для популяризації продукту.

Таблиця 4.23

Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Комунальні підприємства	Прямі переговори, галузеві виставки	Точність, автоматизація	Підвищення ефективності	Інноваційність

Продовження таблиці 4.23

2	Промислові підприємства	Галузеві форуми, B2B-платформи	Економія ресурсів	Покращення управління ресурсами	Надійність
---	-------------------------	--------------------------------	-------------------	---------------------------------	------------

Додаткові аспекти:

- Діджитал-маркетинг: реклама у галузевих медіа, соцмережах, таргетинг.
- Реферальні програми: бонуси за рекомендації та залучення нових клієнтів.
- Публічні кейси: відображення реальних прикладів успішного впровадження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Метою розробки стартап-проекту є створення сенсорної мережі для комунального підприємства, яка забезпечує автоматизований моніторинг, контроль і оптимізацію витрат ресурсів, таких як вода, електроенергія та теплопостачання. Реалізація цього проекту сприятиме зниженню операційних витрат, підвищенню ефективності роботи підприємств та забезпеченню прозорості у взаємодії з клієнтами. Аналіз ринку показує значний потенціал для комерціалізації проекту, з огляду на постійне зростання попиту на автоматизацію в комунальних системах, впровадження концепції «розумного міста» та посилення вимог до ефективного управління ресурсами.

Ринок моніторингових систем оцінюється в 1,5 мільярда гривень щорічно, що свідчить про перспективність впровадження подібного проекту. Головними споживачами є комунальні підприємства, водоканали та енергетичні компанії, які зацікавлені в точному моніторингу ресурсів, автоматизації процесів і прогнозуванні несправностей. Основними конкурентами є міжнародні корпорації, такі як Siemens, Honeywell та Xylem Inc., однак стартап має конкурентні переваги у вигляді повної інтеграції з IoT, високої точності моніторингу (до 95%) та швидкості обробки даних у реальному часі.

Незважаючи на високі бар'єри входу, такі як значні початкові витрати, регуляторні вимоги та сильний вплив конкурентів, проект має високі перспективи реалізації завдяки фокусу на унікальні характеристики продукту та співпраці з державними програмами. SWOT-аналіз підтверджує, що сильні сторони, такі як інтеграція IoT і швидкість обробки даних, дозволяють виділитися на тлі конкурентів, а можливості, включаючи зростання попиту на цифрові рішення та державну підтримку модернізації інфраструктури, створюють сприятливе середовище для реалізації проекту.

Впровадження проекту через комунальні підприємства є найбільш доцільним з огляду на високу ймовірність отримання ресурсів та стислий термін реалізації (до 12 місяців). Додатково передбачено альтернативи, такі як проведення пілотних проектів або маркетингові кампанії для залучення приватного сектору. З огляду на технічну та економічну здійсненність, подальша імплементація проекту є доцільною. Стартап має потенціал стати лідером у галузі автоматизації комунальних послуг, забезпечуючи не лише економічну вигоду, але й позитивний екологічний вплив за рахунок зменшення втрат ресурсів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Singh, A.B., Mishra, Y., Dusad, C., Dangayach, G.S., Sarkar, P., Meena, M.L. Navigating Uncertainty: Cutting-Edge Approaches in Process Control and Monitoring for Risk Mitigation in Supply Chain Management [Електронний ресурс] // Engineering Proceedings. – 2024. – Т. 67, № 1. – С. 74. – Режим доступу: <https://www.mdpi.com/2673-4591/67/1/74> (дата звернення: 07.12.2024).
2. Winkler, M., Tuchs, K.D., Hughes, K., Barclay, G. Theoretical and practical aspects of military wireless sensor networks [Електронний ресурс] // Journal of Telecommunications and Information Technology. – 2008. – № 2. – С. 37–45. – Режим доступу: <https://bibliotekanauki.pl/articles/308220> (дата звернення: 07.12.2024).
3. Остапенко О.О., Романюк В.А., Жук А.В. Аналіз методів та протоколів управління в безпроводних сенсорних мережах [Електронний ресурс] // Журнал ВІТІ. – 2016. – Режим доступу: https://journal.viti.edu.ua/public/romanuk/2016/12_2016.pdf (дата звернення: 07.12.2024).
4. Довженко Н.М. Особливості побудови сенсорних мереж [Електронний ресурс] // Наукові записки. – Режим доступу: <https://journals.dut.edu.ua/index.php/sciencenotes/article/view/1567> (дата звернення: 07.12.2024).
5. Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. Geographic Information Science and Systems. – Wiley, 2015.
6. Lau, K. K., Wang, X. Personalized Service Provisioning for Smart Home // Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments. – 2015. – Т. 7, № 1. – С. 23-35.
7. O'Brien, J. A., Marakas, G. M. Management Information Systems. – McGraw-Hill, 2011.

8. European Commission. Communication on Smart Metering Systems. – 2014.
9. IEC Smart Cities. Smart Cities – Preliminary Standardization Roadmap. – 2016.
10. European Smart Cities: Best Practices and Future Challenges. European Commission. – 2022.
11. Community Engagement in Smart City Projects: A Guide for Municipalities. World Bank Group. – 2021.
12. Jammalamadaka, S.K.R., Chokara, B., Jammalamadaka, S.B., Duvvuri, B.K. Using DL Models in the Service Layer to Enhance the Fault Tolerance of IoT Networks [Электронный ресурс] // Electronics. – 2024. – Т. 13, № 22. – С. 4334. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2079-9292/13/22/4334> (дата звернення: 07.12.2024).
13. Turos, L.-Z., Csernath, G. Resource-Effective Self-Addressing Method for Wired IoT Sensor Matrix [Электронный ресурс] // Engineering Proceedings. – 2024. – Т. 79, № 1. – С. 31. – Режим доступа: <https://www.mdpi.com/2673-4591/79/1/31> (дата звернення: 07.12.2024).
14. Державна служба статистики України. Стан житлово-комунального господарства. – 2020.
15. O'Brien, J. A., Marakas, G. M. Management Information Systems. – McGraw-Hill, 2011.
16. Payne, A., Frow, P. A Strategic Framework for Customer Relationship Management // Journal of Marketing. – 2005. – Т. 69, № 4. – С. 167-176.
17. Chen, H., Chiang, R. H. L., Storey, V. C. Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact // MIS Quarterly. – 2012. – Т. 36, № 4. – С. 1165-1188.

18. Костюк Ю., Бебешко Б., Крючкова Л., Литвинов В., Оксанич І., Складанний П., Хорольська К. Застосування технології кооперативного МІМО для мінімізації енергоспоживання під час передачі даних у безпроводових сенсорних мережах // Інформаційні технології та системи. – 2024. – № 3.
19. Кравченко О.В. Фінансові аспекти діяльності комунальних підприємств // Економіка та держава. – 2019. – № 5. – С. 42-45.
20. Петренко І.М. Проблеми кадрового забезпечення в комунальному господарстві // Управління розвитком. – 2020. – № 4. – С. 30-33.
21. Іванов С.П. Інноваційні технології в ЖКГ: перспективи впровадження // Науковий вісник будівництва. – 2018. – № 1. – С. 15-19.
22. Мельник Л.Г. Екологічні проблеми комунального господарства // Екологія та природокористування. – 2019. – № 2. – С. 27-31.
23. Smith J., Liu Y. Smart Water Networks: Sensor Technology and Applications // Water Resources Management. – 2019. – Т. 33. – С. 2071–2085.
24. Müller K., Schneider R. Optimizing District Heating Systems with IoT Sensors // Energy Procedia. – 2019. – Т. 158. – С. 4361–4366.
25. European Commission. Smart Grids and Beyond: EU Research and Innovation. – 2020.
26. Brown A. SCADA Systems in Municipal Infrastructure // International Journal of Engineering Research. – 2018. – Т. 12. – С. 45-50.
27. Wang Y. Enhancing Public Utility Services through Mobile Applications // Journal of Service Management. – 2018. – Т. 29, № 3. – С. 455-472.

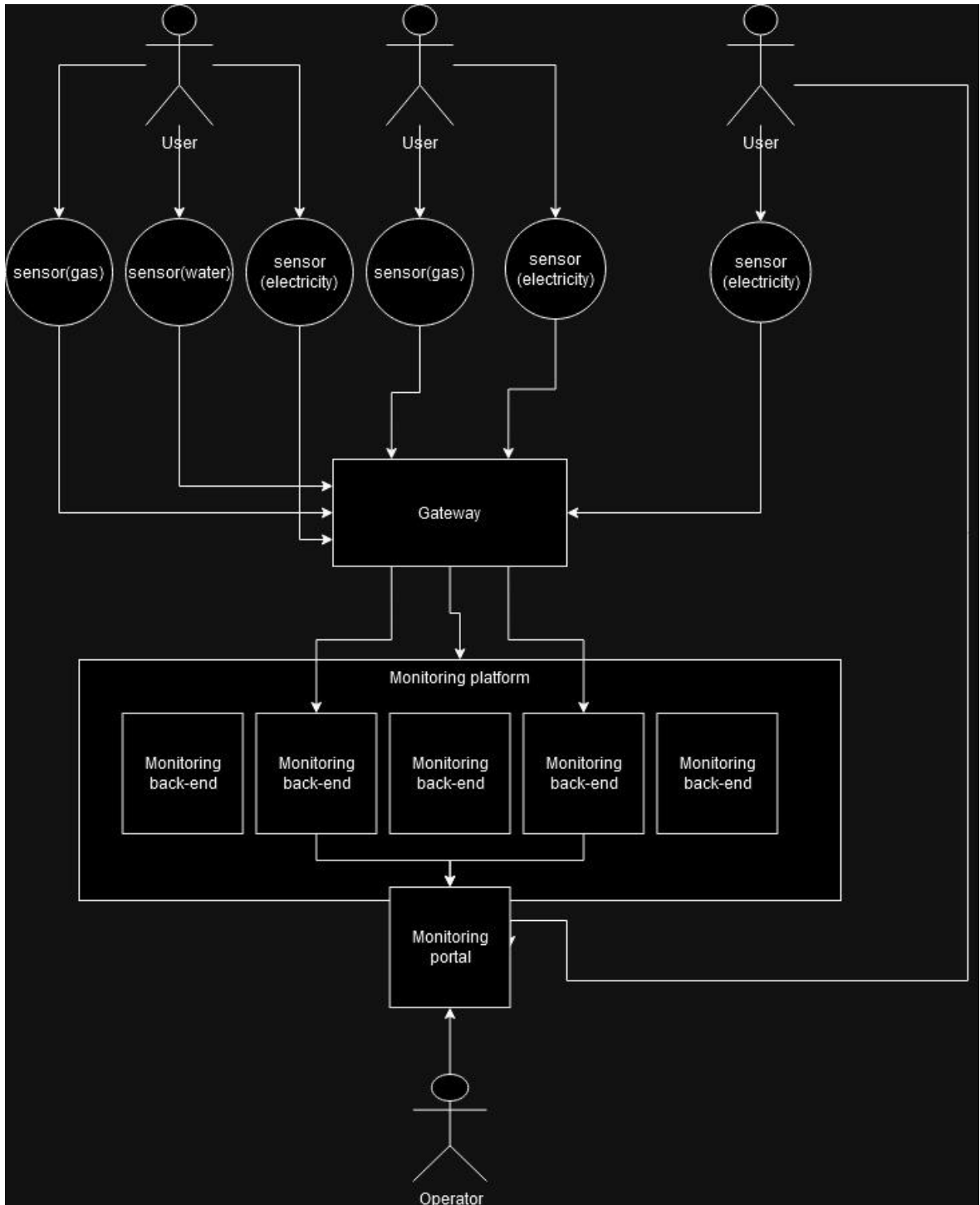
28. Проект "Енергоєфективне місто Житомир". Звіт про результати впровадження. – 2020.
29. КП "Центр комунального сервісу". Аналіз роботи з використанням мобільних додатків. – 2021.
30. cybersecurity.ua. Кіберзахист критичної інфраструктури: виклики та рішення. – 2020.
31. Романченко, Д.О. Метод формування цінової політики в комунальних підприємствах України: дипломна робота бакалавра: 113 Прикладна математика / Романченко Дмитро Олександрович. – Київ, 2023. – 62 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/60516> (дата звернення: 07.12.2024).
32. Закон України "Про місцеве самоврядування в Україні". – 1997.
33. Закон України "Про житлово-комунальні послуги". – 2017.
34. Davenport, T.H., Short, J.E. The New Industrial Engineering: Information Technology and Business Process Redesign // Sloan Management Review. – 1990. – Т. 31, № 4. – С. 11-27.
35. Parasuraman, A., Zeithaml, V.A., Berry, L.L. A Conceptual Model of Service Quality and Its Implications for Future Research // Journal of Marketing. – 1985. – Т. 49, № 4. – С. 41-50.
36. Fung, A., Graham, M., Weil, D. Full Disclosure: The Perils and Promise of Transparency. – Cambridge University Press, 2007.
37. Farhangi, H. The Path of the Smart Grid // IEEE Power and Energy Magazine. – 2010. – Т. 8, № 1. – С. 18-28.
38. Brynjolfsson, E., Hitt, L.M. Beyond Computation: Information Technology, Organizational Transformation and Business Performance // Journal of Economic Perspectives. – 2000. – Т. 14, № 4. – С. 23-48.

39. Brown, S.A., Venkatesh, V. Model of Adoption of Technology in Households: A Baseline Model Test and Extension Incorporating Household Life Cycle // MIS Quarterly. – 2005. – Т. 29, № 3. – С. 399-426.
40. Melville, N.P. Information Systems Innovation for Environmental Sustainability // MIS Quarterly. – 2010. – Т. 34, № 1. – С. 1-21.
41. Molla, A., Cooper, V., Pittayachawan, S. The Green IT Readiness (G-Readiness) of Organizations: An Exploratory Analysis of a Construct and Instrument // Communications of the Association for Information Systems. – 2011. – Т. 29, № 1. – С. 67-96.
42. Джонс П., Лі Ч., Сміт Р. Аналіз та прогнозування даних сенсорних мереж // Науковий журнал "Технології сенсорного моніторингу". – 2023. – С. 24-32.
43. Міллер Д. Методологічні підходи до симуляції сенсорних мереж // Журнал обчислювальної техніки. – 2022. – С. 150-160.
44. Браун А., Чжан К. Порівняння методів моделювання та аналізу сенсорних мереж // Сенсорні мережі: Теорія і практика. – Видавництво Техно-прес, 2021. – С. 90-102.
45. Романов А., Хан Ю. Вибір оптимальних методів дослідження сенсорних мереж // Журнал комп'ютерної науки. – 2021. – С. 40-52.

ДОДАТКИ

Додаток А

Діаграма запропонованої сенсорної мережі в комунальному підприємстві



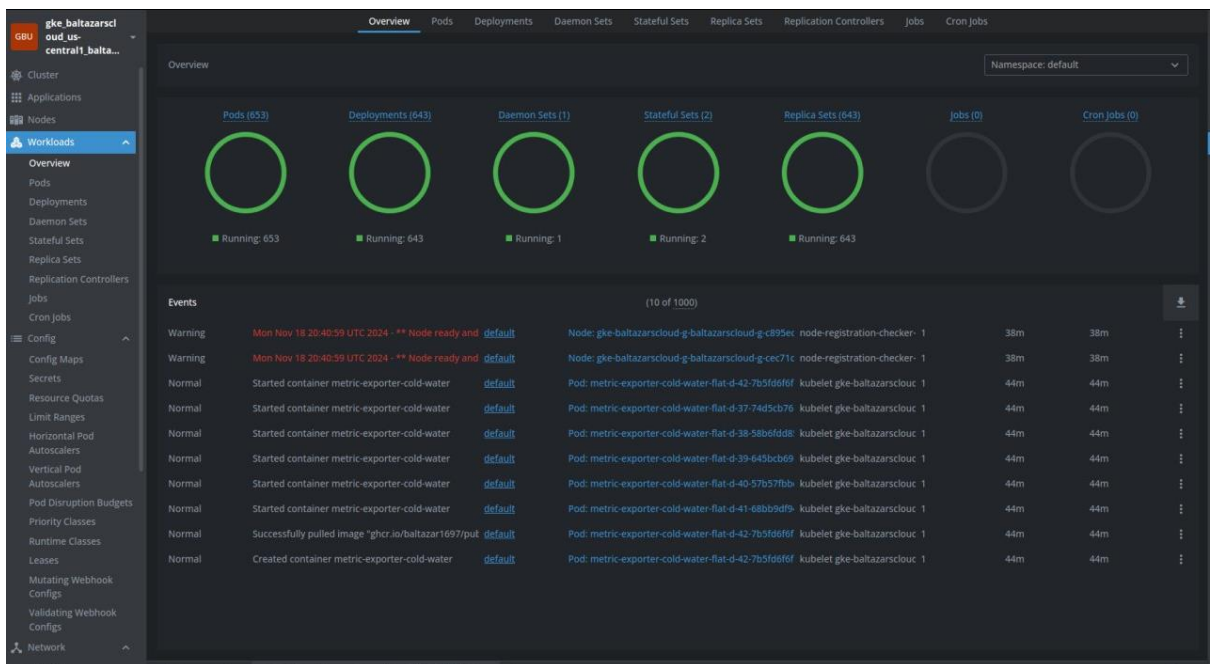
Додаток Б

Демонстрація інфраструктури тестового стенду

Name ↑	Status	CPU requested	CPU allocatable	Memory requested	Memory allocatable	Storage requested	Storage allocatable
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-6a559db6-88yz	Ready	764 mCPU	1.93 CPU	1.06 GB	5.88 GB	0 B	0 B
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-6a559db6-w2rf	Ready	759 mCPU	1.93 CPU	1.05 GB	5.88 GB	0 B	0 B
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-c895ed8b-2w7	Ready	954 mCPU	1.93 CPU	1.26 GB	5.88 GB	0 B	0 B
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-c895ed8b-5d39	Ready	379 mCPU	1.93 CPU	638.93 MB	5.88 GB	0 B	0 B
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-c895ed8b-rd38	Ready	1.05 CPU	1.93 CPU	1.38 GB	5.88 GB	0 B	0 B
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-cec71c40-5pvm	Ready	1.14 CPU	1.93 CPU	1.36 GB	5.88 GB	0 B	0 B
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-cec71c40-5zqs	Ready	324 mCPU	1.93 CPU	549.8 MB	5.88 GB	0 B	0 B
gke-baltazarscloud-q-baltazarscloud-q-cec71c40-qkd9	Ready	959 mCPU	1.93 CPU	1.11 GB	5.88 GB	0 B	0 B

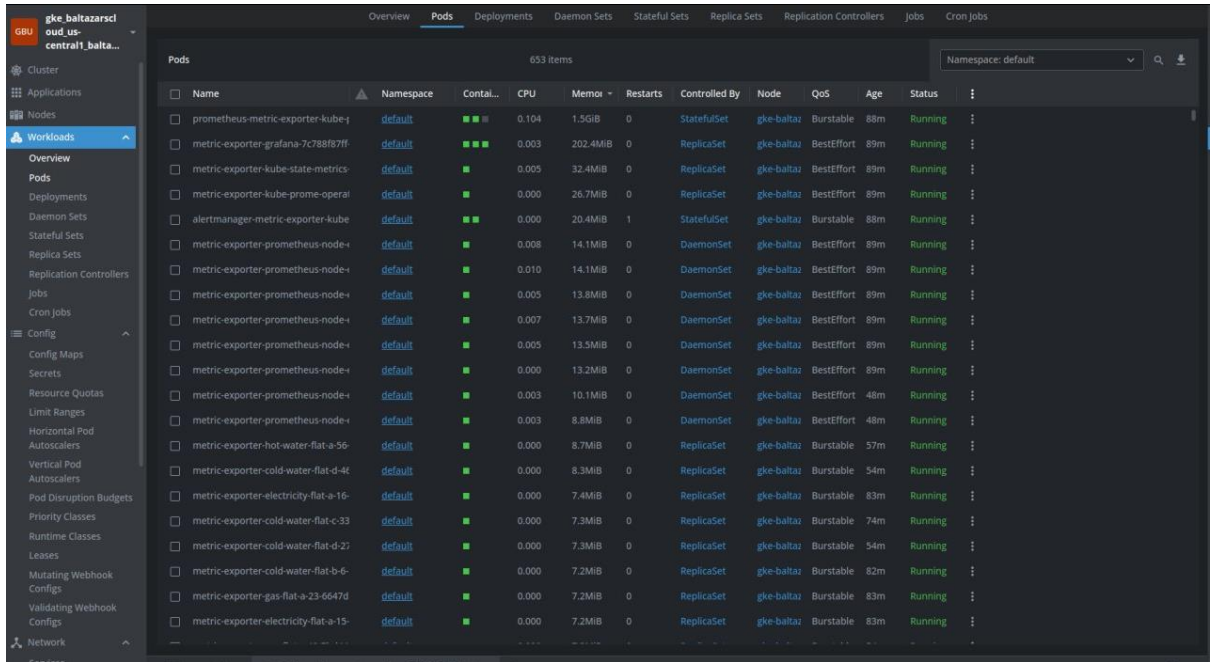
Додаток В

Демонстрація запущеного застосунку на тестовому стенді



Додаток Г

Демонстрація застосунку на тестового стенду

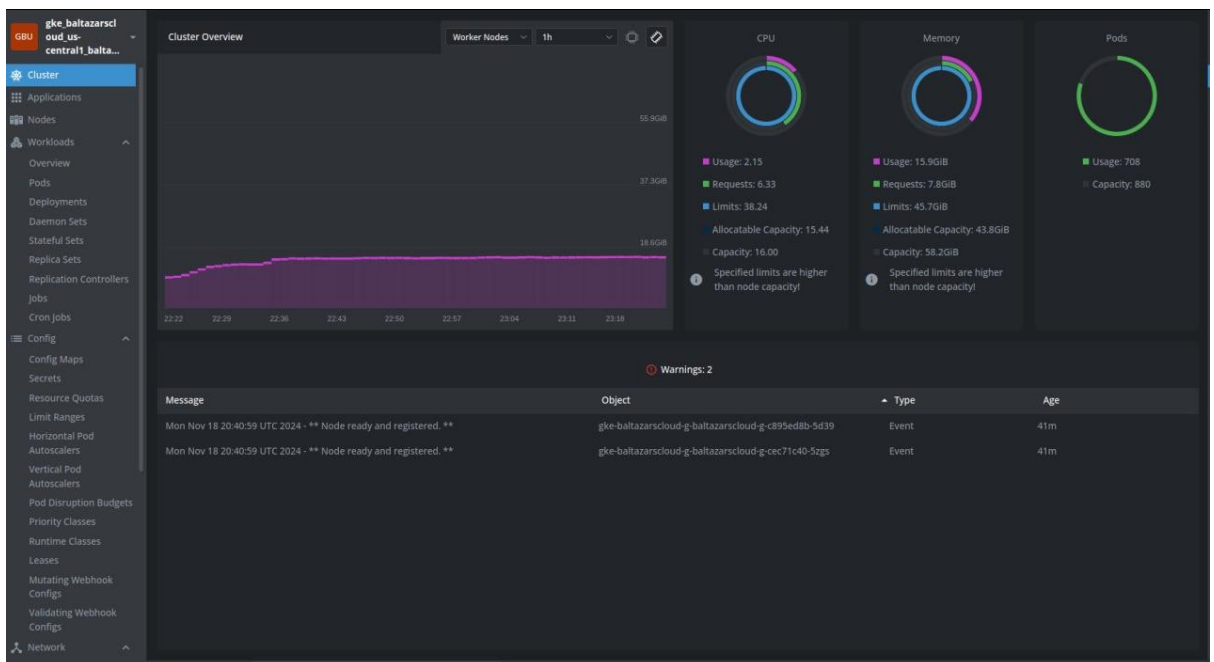


The screenshot displays the 'Pods' tab in the Kubernetes dashboard. The table lists 20 pods, all in a 'Running' state. The columns include Name, Namespace, Contain..., CPU, Memori..., Restarts, Controlled By, Node, QoS, Age, and Status. The pods are primarily 'metric-exporter' instances of various types (e.g., grafana, kube-state-metrics, prometheus) and one 'alertmanager' pod.

Name	Namespace	Contain...	CPU	Memori...	Restarts	Controlled By	Node	QoS	Age	Status
prometheus-metric-exporter-kube-	default	■ ■ ■	0.104	1.5GiB	0	StatefulSet	gke-baltaz...	Burstable	88m	Running
metric-exporter-grafana-7c788f87ff	default	■ ■ ■	0.003	202.4MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-kube-state-metrics	default	■	0.005	32.4MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-kube-promete-operat	default	■	0.000	26.7MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
alertmanager-metric-exporter-kube	default	■ ■ ■	0.000	20.4MiB	1	StatefulSet	gke-baltaz...	Burstable	88m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.008	14.1MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.010	14.1MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.005	13.8MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.007	13.7MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.005	13.5MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.000	13.2MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	89m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.003	10.1MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	48m	Running
metric-exporter-prometheus-node-	default	■	0.003	8.8MiB	0	DaemonSet	gke-baltaz...	BestEffort	48m	Running
metric-exporter-hot-water-flat-a-56	default	■	0.000	8.7MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	57m	Running
metric-exporter-cold-water-flat-d-4c	default	■	0.000	8.3MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	54m	Running
metric-exporter-electricity-flat-a-16	default	■	0.000	7.4MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	83m	Running
metric-exporter-cold-water-flat-c-33	default	■	0.000	7.3MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	74m	Running
metric-exporter-cold-water-flat-d-2f	default	■	0.000	7.3MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	54m	Running
metric-exporter-cold-water-flat-b-6	default	■	0.000	7.2MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	82m	Running
metric-exporter-gas-flat-a-23-6647d	default	■	0.000	7.2MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	83m	Running
metric-exporter-electricity-flat-a-15	default	■	0.000	7.2MiB	0	ReplicaSet	gke-baltaz...	Burstable	83m	Running

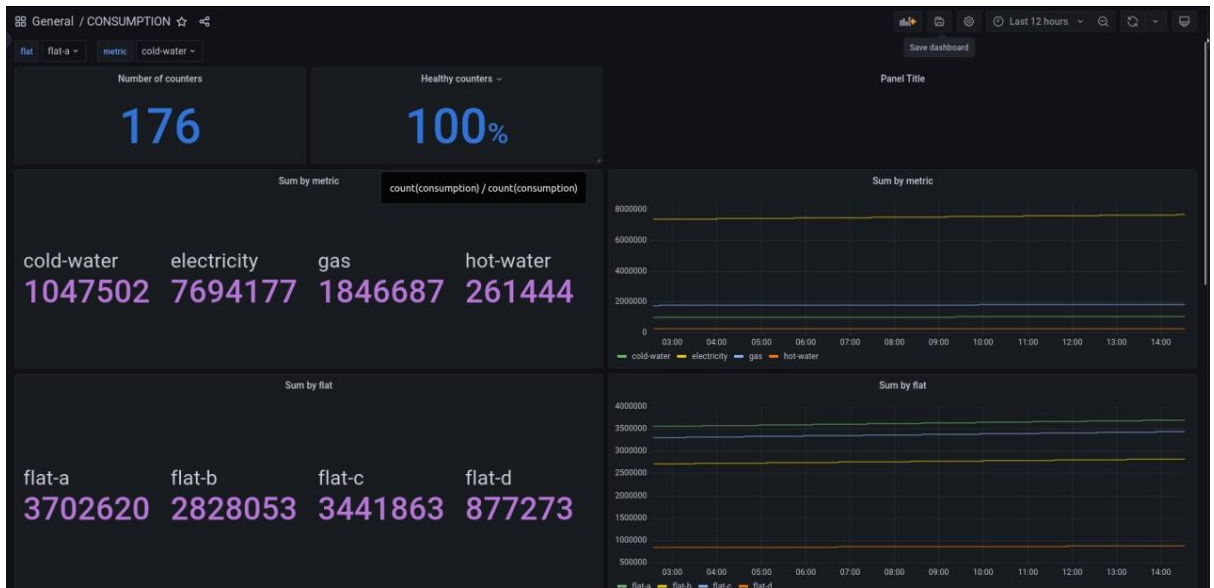
Додаток Д

Демонстрація запущеного застосунку на тестовому стенді



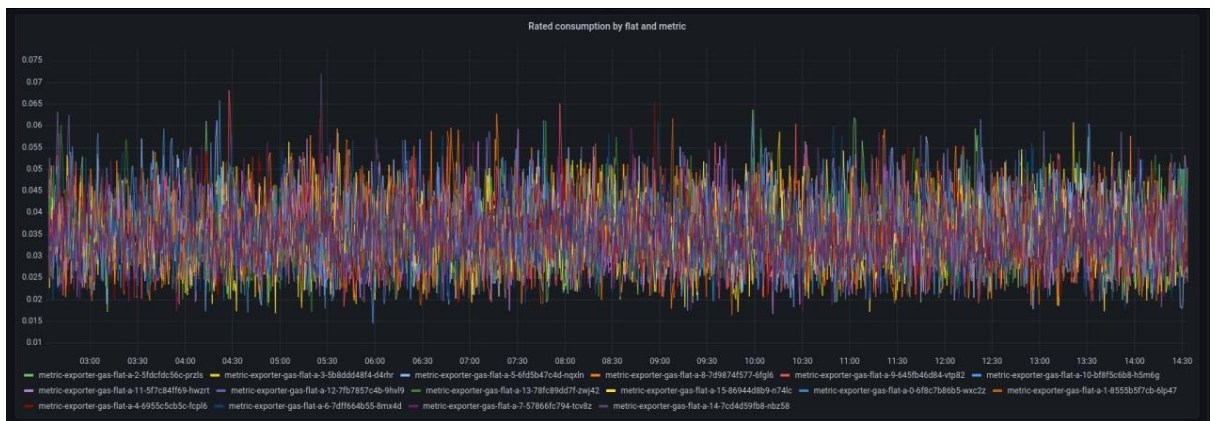
Додаток Е

Демонстрація запущеного застосунку на тестовому стенді



Додаток Ж

Демонстрація запущеного застосунку на тестовому стенді



Додаток З

Демонстрація запущеного застосунку на тестовому стенді



Додаток II

Демонстрація запущеного застосунку на тестовому стенді

