

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»



Факультет комп'ютерних наук та технологій
Кафедра «Комп'ютерні системи та мережі»

КАЛІНІЧЕНКО ІРИНА ВАСИЛІВНА
Група КНТ-513м

ІОТ СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ РІДИН

АВТОРЕФЕРАТ

магістерської роботи на здобуття освітньо-кваліфікаційного
рівня «магістр» 123 «Комп'ютерна інженерія»
освітньої програми «Комп'ютерні системи та мережі»

2024 р.

Магістерська робота є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Запорізька політехніка», на кафедрі комп'ютерних систем та мереж

Керівник кандидат технічних наук, доцент
Грушко Світлана Сергіївна,
Національний університет «Запорізька
політехніка», доцент кафедри
комп'ютерних систем та мереж

**Офіційний
рецензент:** **Козіна Галина Леонидівна,**
к.т.н., доцент кафедри «Інформаційної
безпеки та наноелектроніки»

Захист відбудеться "13" грудня 2024 р.

Секретар екзаменаційної комісії, доцент кафедри
комп'ютерних систем та мереж **Т.В. Голуб**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Моніторинг якості води в аквакультурі є важливим завданням, оскільки параметри води безпосередньо впливають на здоров'я, ріст і продуктивність водних організмів. За відсутності систематичного контролю значно зростає ризик виникнення проблем, таких як масова загибель риб, погіршення екосистеми чи зниження ефективності господарства. Це підвищує потребу у впровадженні сучасних автоматизованих рішень для моніторингу водних середовищ.

Впровадження IoT (Internet of Things) технологій дозволяє створювати високоефективні системи моніторингу, які забезпечують безперервний контроль параметрів у режимі реального часу. Традиційні методи, такі як ручні заміри та лабораторні аналізи, не можуть забезпечити необхідну частоту збору даних і оперативність реагування. IoT-системи, навпаки, здатні аналізувати значні обсяги даних і надавати прогнозовану інформацію, що значно підвищує точність управління.

В умовах кліматичних змін зростає кількість екстремальних погодних явищ, які можуть негативно впливати на водні екосистеми. Збільшення температури води, зміна рівня розчиненого кисню або підвищення рівня забруднюючих речовин створюють додаткові виклики для аквакультурних господарств. Сучасні IoT-рішення дозволяють виявляти ці зміни на ранніх етапах і швидко приймати відповідні рішення, знижуючи ризики.

Україна, як країна з багатими водними ресурсами, має значний потенціал для розвитку аквакультури. Проте цей сектор стикається з проблемами через недостатнє впровадження інноваційних технологій. Більшість господарств покладаються на застарілі методи моніторингу, що ускладнює управління якістю води, особливо в умовах локальних екологічних загроз.

Впровадження IoT-системи моніторингу якості води може значно підвищити продуктивність аквакультурних господарств. Такі системи здатні забезпечити постійний контроль ключових параметрів, таких як температура, рН, рівень розчиненого кисню, що є критично важливим для підтримання здоров'я водних організмів. Водночас вони дозволяють знизити витрати, пов'язані з втратою продукції чи неефективним використанням ресурсів.

Сучасні технології IoT також сприяють екологічній безпеці. Використання енергоефективних рішень, таких як автономні сенсорні вузли на основі сонячних панелей, знижує вплив господарств на навколишнє середовище. Крім того, автоматизація процесів зменшує людський фактор і ймовірність помилок у моніторингу.

Зміна клімату та військові дії на території України створюють додаткові ризики для водних екосистем. Забруднення водойм продуктами горіння, хімічними речовинами або відходами може мати катастрофічні наслідки для аквакультури. У таких умовах своєчасний моніторинг параметрів води стає ще більш актуальним для запобігання екологічним катастрофам.

Інтеграція IoT-рішень у сферу аквакультури відкриває нові можливості для цифровізації галузі. Це дозволяє створювати комплексні платформи управління, що об'єднують моніторинг якості води, управління запасами та планування виробництва. Такі платформи сприяють підвищенню прозорості процесів і оптимізації всіх аспектів господарства.

Таким чином, актуальність дослідження полягає в необхідності впровадження IoT-систем для забезпечення ефективного моніторингу якості води в аквакультурі. Це відповідає глобальним викликам, пов'язаним із забезпеченням продовольчої безпеки, мінімізацією впливу на екосистеми та адаптацією до кліматичних змін.

Розробка такої системи є важливим кроком для модернізації аквакультури в Україні, що дозволить підвищити її конкурентоспроможність і сприяти сталому розвитку в умовах економічних і екологічних викликів.

Мета і завдання дослідження. Мета магістерської роботи - розробка комплексної IoT-системи моніторингу якості води для аквакультури, що забезпечує безперервний контроль ключових параметрів водного середовища з використанням сучасних технологій, енергоефективного обладнання та інноваційних методів аналізу даних. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі основні завдання:

1. Провести аналіз предметної області та визначити ключові параметри води, які потребують постійного моніторингу для забезпечення ефективності аквакультурного господарства;

2. Оцінити існуючі IoT-рішення для моніторингу якості води, їх переваги та недоліки, а також визначити їх придатність до умов українських господарств;

3. Розробити архітектуру IoT-системи, яка включає сенсорний рівень, мережеву інфраструктуру, серверний рівень для обробки даних та рівень візуалізації;

4. Обґрунтувати вибір апаратного забезпечення, зокрема датчиків і мікроконтролерів, що забезпечують енергоефективність та високу точність вимірювань;

5. Розробити програмне забезпечення для обробки, аналізу та візуалізації даних, отриманих із сенсорів;

6. Впровадити протоколи зв'язку (LoRaWAN, Wi-Fi, GSM) для забезпечення передачі даних у віддалених умовах та гарантування безперервної роботи системи;

7. Реалізувати енергоефективну систему живлення для сенсорних вузлів із використанням сонячних панелей і акумуляторів.

Об'єкт дослідження – процес моніторингу параметрів якості води в системах аквакультури.

Предмет дослідження – методи та засоби створення IoT-системи моніторингу якості води для аквакультури.

Методи дослідження - у роботі використано методи аналізу і синтезу для вивчення предметної області, систематизації інформації про існуючі IoT-рішення та виділення ключових параметрів води, які потребують моніторингу, системний підхід для розробки архітектури IoT-системи, що забезпечує інтеграцію сенсорного, мережевого, серверного та візуалізаційного рівнів, методи інженерного проектування – для вибору апаратного забезпечення, методи програмної інженерії – для розробки програмного забезпечення з обробки, зберігання, аналізу та візуалізації даних.

Наукова новизна отриманих результатів:

Обґрунтовано вплив впровадження IoT-системи на підвищення продуктивності та екологічної стійкості аквакультурних господарств в умовах змін клімату та локальних екологічних загроз та запропоновано чотирирівневу архітектуру IoT-системи моніторингу якості води для аквакультури, яка забезпечує інтеграцію сенсорного, мережевого, серверного та

візуалізаційного рівнів із можливістю масштабування та адаптації до специфічних умов господарства.

Практичне значення отриманих результатів:

Розробка дозволяє оперативно реагувати на зміну параметрів води, що сприяє підвищенню продуктивності аквакультурних господарств та зниженню ризиків втрат.

Апробація результатів магістерської роботи. Результати дослідження представлені на XII Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» у вигляді тез доповіді "Особливості використання IoT систем для моніторингу параметрів води для аквакультур" (автори: Калініченко І.В., Грушко С.С.).

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Основна частина містить 84 сторінки, 4 рисунки і 13 таблиць, список використаних джерел із 36 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі проведено аналіз предметної області IoT-систем моніторингу параметрів води для аквакультури. Розглянуто широкий спектр методів контролю – від традиційних ручних вимірювань до сучасних автоматизованих IoT-рішень, що базуються на хмарних технологіях, машинному навчанні та штучному інтелекті.

За результатами аналізу визначено ключові параметри для моніторингу, серед яких температура, рівень розчиненого кисню, рН, вміст аміаку та нітратів. Проведено огляд існуючих IoT-рішень, їх переваг і недоліків, зокрема, комплексних платформ управління фермою, спеціалізованих енергоефективних систем і технологій прогнозування. У таблицях систематизовано основні особливості рішень з огляду на технічні, економічні та екологічні аспекти.

Виявлено, що найбільш перспективними є інтегровані системи, які поєднують моніторинг якості води з управлінням іншими аспектами господарства. Особливу увагу приділено використанню алгоритмів машинного навчання для аналізу даних

та екологічній стійкості рішень, які сприяють мінімізації впливу на навколишнє середовище.

У результаті аналізу для подальшої розробки обрано підхід, що поєднує енергоефективні IoT-системи з компонентами для глибокого аналізу та прогнозування. Враховано виклики, пов'язані з вартістю впровадження, потребою в інфраструктурі та навчанні персоналу. Такий підхід орієнтований на забезпечення ефективного управління аквакультурними господарствами в умовах зміни клімату та глобальних екологічних загроз.

У другому розділі У другому розділі розроблено чотирирівневу архітектуру IoT-системи моніторингу параметрів води, яка включає сенсорний, мережевий, серверний рівні та рівень візуалізації. Сенсорний рівень представлено автономними вузлами з високоточними датчиками для вимірювання температури, рН, рівня розчиненого кисню та електропровідності.

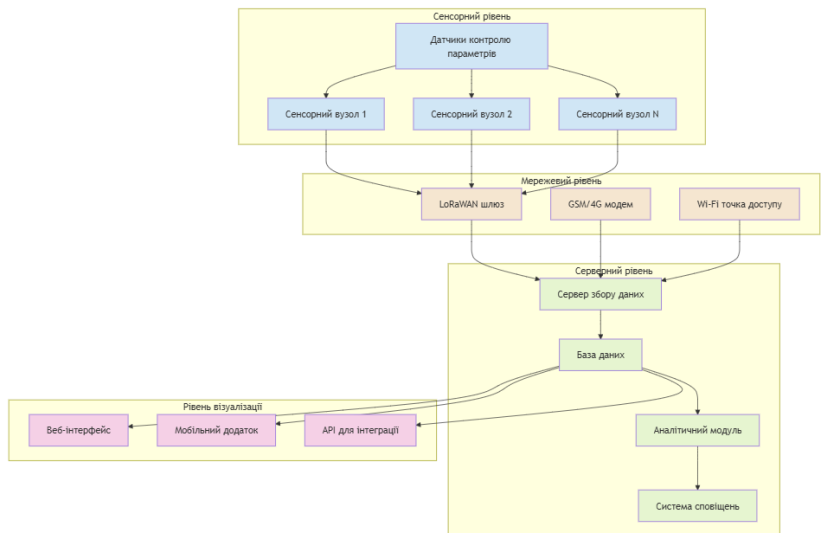


Рисунок 1 - Архітектура IoT системи моніторингу води для аквакультури

Для побудови мережевої інфраструктури використано технологію LoRaWAN, яка забезпечує передачу даних на відстань до 15 км, із застосуванням промислових шлюзів Kerlink Wirnet

iStation. Серверний рівень реалізовано на основі сервера Dell PowerEdge R740, а візуалізація даних здійснюється через веб-інтерфейс і мобільний додаток із можливістю локального контролю за допомогою панельних комп'ютерів Advantech PPC-3120S.

На основі порівняльного аналізу обрано оптимальні компоненти системи. Як центральний процесор сенсорних вузлів використовується ESP32-WROOM-32D, що забезпечує високу обчислювальну потужність і бездротовий зв'язок. Для вимірювання параметрів води застосовуються датчики DS18B20, Atlas Scientific, Pyroscience OPDOT та інші.

Система живлення побудована з використанням сонячної панелі SOLAR-SEN36-50W та акумулятора EVE LF280K. Контролер заряду Victron Energy SmartSolar MPPT 75/15 забезпечує оптимізацію процесу заряджання та дистанційний контроль.

Особливу увагу приділено надійності та безпеці. Всі компоненти мають промислове виконання, захист від навколишнього середовища, резервні канали зв'язку та системи безперебійного живлення. Дані передаються із використанням сучасних протоколів шифрування, що гарантує конфіденційність та цілісність інформації.

У **третьому розділі** розроблено структурну схему IoT-системи, яка забезпечує інтеграцію всіх компонентів, зокрема системи живлення, мікроконтролера, високоточних датчиків та комунікаційних модулів. Завдяки такій архітектурі система забезпечує надійну автономну роботу та гнучкість у передачі даних.

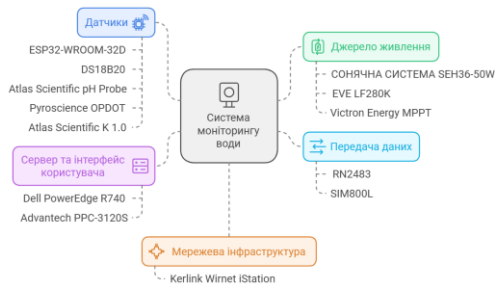


Рисунок 2 – Структурна схема системи моніторингу якості води

Інтеграція датчиків реалізована відповідно до специфічних вимог кожного типу. Температурні датчики DS18B20 мають водонепроникне виконання та унікальну адресацію. Для рН-електродів Atlas Scientific забезпечено відповідний нахил і калібрування, а оптичні датчики Pyrosience OPDOT розміщено в проточних камерах із захистом від сонячного світла. Датчики електропровідності Atlas Scientific К 1.0 змонтовані з урахуванням орієнтації та потреб калібрування. Всі підключення виконані через роз'єми з класом захисту IP68, а програмне забезпечення містить алгоритми фільтрації та перевірки даних.

Система живлення базується на монокристалічній сонячній панелі потужністю 50 Вт з MPPT-контролером Victron Energy SmartSolar MPPT 75/15 та літій-залізо-фосфатним акумулятором ємністю 280 Ач, що забезпечує тривалу автономну роботу. Впроваджено багаторівневу схему управління енергоспоживанням для оптимізації роботи компонентів, а система моніторингу дозволяє віддалено контролювати стан живлення.

Розроблена структура забезпечує оптимальний баланс між функціональністю, надійністю та енергоефективністю. Модульний підхід до проектування сприяє легкому масштабуванню системи відповідно до потреб користувачів і робить її придатною для довготривалої експлуатації в умовах аквакультурних господарств.

У четвертому розділі проведено детальний аналіз розробки програмного забезпечення для системи моніторингу води з різними типами датчиків. За результатами розробки створено комплексні програмні рішення для кожного датчика, що включають як схеми підключення, так і оптимізований програмний код для обробки даних. Для температурного датчика DS18B20 реалізовано надійну взаємодію через 1-Wire протокол з використанням спеціалізованих бібліотек, впроваджено ефективну систему фільтрації даних та забезпечено високу точність вимірювань до 0.0625°C при роздільній здатності 12 біт. При розробці програмного модуля для рН-електрода Atlas Scientific створено складну систему фільтрації та валідації даних з оптимізованим алгоритмом сортування, що працює через апаратний UART2 інтерфейс. Для оптичного датчика розчиненого кисню Pyrosience OPDOT реалізовано енергоефективне програмне забезпечення з підтримкою температурної компенсації та надійними алгоритмами обробки

даних через I2C інтерфейс. Програмний модуль датчика електропровідності Atlas Scientific K 1.0 забезпечує точні вимірювання з температурною компенсацією та надійною системою контролю помилок через UART інтерфейс. Всі розроблені програмні модулі реалізовані на мові C++ з використанням сучасних практик програмування, що забезпечує оптимальне використання ресурсів мікроконтролера та високу надійність роботи системи.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи було розроблено комплексну IoT систему моніторингу якості води для аквакультури, що відповідає сучасним технологічним вимогам та враховує специфіку галузі.

На основі детального аналізу предметної області було визначено ключові параметри води, які потребують постійного моніторингу, включаючи температуру, рівень рН, вміст розчиненого кисню та електропровідність. Дослідження існуючих IoT рішень дозволило виявити основні тенденції розвитку галузі та врахувати найкращі практики при розробці власної системи.

Розроблена чотирирівнева архітектура системи забезпечує повний цикл збору, обробки та аналізу даних. Сенсорний рівень реалізовано у вигляді мережі автономних вимірювальних вузлів з високоточними датчиками. Мережевий рівень, побудований на технології LoRaWAN, забезпечує надійну передачу даних на відстань до 15 км. Серверний рівень здійснює обробку та аналіз даних у реальному часі, а рівень візуалізації надає зручний доступ до інформації через веб-інтерфейс та мобільний додаток.

У роботі було обґрунтовано вибір оптимальних компонентів системи. В якості центрального процесора сенсорних вузлів обрано мікроконтролер ESP32-WROOM-32D, який забезпечує необхідну обчислювальну потужність та має вбудовані засоби бездротового зв'язку. Для вимірювання параметрів води використано високоточні датчики: цифровий температурний датчик DS18B20, рН-електрод Atlas Scientific, оптичний датчик розчиненого кисню

Pyroscience OPDOT та датчик електропровідності Atlas Scientific K 1.0.

Особливу увагу приділено розробці енергоефективної системи живлення, що базується на сонячній панелі потужністю 50 Вт та літій-залізо-фосфатному акумуляторі ємністю 280 Ач. Використання контролера заряду Victron Energy SmartSolar MPPT 75/15 забезпечує оптимальне перетворення сонячної енергії та тривалу автономну роботу системи.

Розроблене програмне забезпечення реалізує надійну взаємодію з усіма типами датчиків, включаючи складні алгоритми фільтрації даних та виявлення некоректних показань. Використання медіанної фільтрації та валідації даних забезпечує високу точність вимірювань та стійкість до завад. Програмний код оптимізовано для ефективного використання ресурсів мікроконтролера та тривалої автономної роботи.

Розроблена система може бути впроваджена в аквакультурних господарствах різного масштабу та забезпечить точний моніторинг параметрів води, своєчасне виявлення відхилень та підвищення ефективності виробництва. Модульна архітектура системи дозволяє легко масштабувати її відповідно до потреб конкретного господарства та адаптувати до специфічних умов експлуатації. Таким чином, всі поставлені в роботі задачі виконані й мета досягнута.