

УДК 620.91: 330.567.4

Калініченко І.В.¹, Грушко С.С.²

¹ студ. гр. КНТЗ-513м НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ІОТ СИСТЕМ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ВОДИ ДЛЯ АКВАКУЛЬТУРИ

ІоТ моніторинг якості води набуває все більшої актуальності в сучасному світі, де ефективне управління водними ресурсами стає критично важливим. Ця технологія дозволяє в режимі реального часу відстежувати ключові параметри води, такі як температура, рН, вміст розчиненого кисню та забруднюючих речовин, забезпечуючи оперативне реагування на зміни.

Актуальність розробки ІоТ системи моніторингу води саме для аквакультур в Україні зумовлена поєднанням глобальних та локальних викликів. Зміна клімату призводить до підвищення температур та зміни режиму опадів, що безпосередньо впливає на водні екосистеми та умови вирощування риби. Водночас, триваюча війна створює додаткові ризики для водних ресурсів: обстріли можуть призводити до пожеж та руйнування промислових об'єктів, що спричиняє забруднення водою хімічними речовинами та продуктами горіння.

Аналіз існуючих рішень показує, що сучасні ІоТ системи для аквакультури можна розділити на декілька основних категорій:

- комплексні системи моніторингу (наприклад, AquaManager) забезпечують повний моніторинг параметрів води, автоматизацію годування та інтеграцію з системами управління фермою. Перевагами таких систем є всебічний моніторинг, інтеграція різних аспектів управління, однак вони мають високу вартість та відрізняються складністю впровадження;

- автономні буї та платформи (наприклад, MARIABOX) представляють собою плавучі пристрої, оснащені різноманітними сенсорами. Такі реалізації мають гарну мобільність і дають можливість моніторингу великих акваторій. До недоліків таких систем можна віднести обмежений час автономної роботи;

- системи раннього попередження (наприклад, AquaViews) спеціалізуються на виявленні потенційних загроз для здоров'я риб. Вони дозволяють швидко реагувати на проблеми, однак не захищені від хибних тривог;

- рішення на основі блокчейну (наприклад, FISHCOIN) забезпечують прозорість та простежуваність даних. Незважаючи на складність впровадження, такі системи забезпечують надійність даних та захист від підробки;

- системи з елементами штучного інтелекту (наприклад, Aquatracker) використовують машинне навчання для прогнозування, однак такі прогностичні можливості потребують великих масивів даних;

- енергоефективні рішення (наприклад, EsoAqua) розроблені для роботи в умовах обмеженої інфраструктури, вони характеризуються тривалою автономною роботою, але мають обмежену функціональність.

Для ефективного функціонування IoT системи моніторингу води необхідно контролювати ряд ключових параметрів, взаємозв'язок яких можна описати наступною формулою:

$$F(x) = K_1T + K_2O_2 + K_3pH + K_4N + K_5E, \quad (1)$$

де T – температура води;

O_2 – рівень розчиненого кисню;

pH – кислотність води;

N – рівень сполук азоту;

E – електропровідність;

K_1, K_2, K_3, K_4, K_5 – вагові коефіцієнти.

Таблиця 1 – Порівняння IoT систем моніторингу

Тип системи	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Комплексна	Всебічний моніторинг	Висока вартість	Великі господарства
Автономна	Мобільність	Обмежений час роботи	Відкриті водойми
З елементами ШІ	Прогнозування	Складність навчання	Інтенсивна аквакультура
Енергоефективна	Автономність	Обмежена функціональність	Віддалені локації
Блокчейн	Надійність даних	Складність впровадження	Експортна продукція

Успішне впровадження IoT системи моніторингу води залежить від комплексу взаємопов'язаних факторів. Дослідження показують, що ці фактори можна розділити на три основні категорії: технічні, нормативні та економічні вимоги [1].

Технічні вимоги включають надійність сенсорів у водному середовищі, що є критичною для точності даних [2]. Важливими компонентами також є стабільність передачі даних, енергоефективність системи, точність вимірювань та захист від зовнішніх впливів. За проаналізованими даними [3], надійність сенсорів безпосередньо впливає на якість моніторингу та ефективність системи в цілому.

Щодо нормативних вимог, ключовими аспектами є відповідність національним стандартам та дотримання екологічних норм.

Також необхідно враховувати економічні аспекти, що охоплюють оптимальне співвідношення ціни та якості, витрати на обслуговування, термін окупності та масштабованість рішення. Дослідження [4] показує, що ефективне управління цими факторами може значно знизити загальну вартість володіння системою при збереженні її функціональності.

Аналіз тенденцій розвитку IoT систем моніторингу води для аквакультури виявляє декілька перспективних напрямків розвитку. Одним із ключових напрямків є інтеграція систем машинного навчання для вдосконалення прогностичних можливостей. Впровадження технологій граничних обчислень стає все більш важливим для оптимізації обробки даних. Це дозволяє суттєво зменшити затримку передачі даних та підвищити ефективність системи в цілому. Особливу увагу дослідники приділяють розвитку методів захисту від кібератак та забезпеченню конфіденційності даних, що стає все більш критичним в умовах зростання кількості підключених пристроїв та обсягів даних, що обробляються.

Таким чином, на основі проведеного аналізу встановлено, що успішність впровадження IoT систем моніторингу параметрів води залежить від збалансованого врахування технічних, нормативних та економічних факторів. Найбільш ефективними виявляються інтегровані рішення з функціями прогнозування та автоматизації, особливо ті, що використовують технології машинного навчання та граничних обчислень для підвищення точності моніторингу та зменшення затримок при передачі даних. Впровадження таких систем демонструє значний потенціал для підвищення ефективності аквакультурних господарств, особливо в контексті сучасних екологічних та інфраструктурних викликів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Boyd C. E., Tucker C. S. Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer Nature, 2022. P. 87-110.
2. Lee P. G., Lea R. N. Internet-based monitoring and control for aquaculture. Aquaculture Engineering. Elsevier, 2020. P. 785-815.

3. Parra L., Sendra S., García L., Lloret J. Design and Deployment of Low-Cost Sensors for Monitoring the Water Quality and Fish Behavior in Aquaculture Tanks during the Feeding Process. *Sensors*. 2018. Vol. 18, № 3. P. 750.

4. Jothiswaran V. V., Velmurugan A., Suresh Kumar R. IoT-Based Smart Aquaculture Monitoring System: A Comprehensive Review. *Aquaculture International*. 2022. Vol. 30. P. 1-25.

5. Probst W. N. How emerging data technologies can increase trust and transparency in fisheries. *ICES Journal of Marine Science*. 2020. Vol. 77, № 4. P. 1286-1294.