

УДК 681.5

Ю. Атаманчук; Ю. Лещишин, к. т. н.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

МОНІТОРИНГ ТА АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ РІВНЯ ТОКСИЧНОСТІ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА В АКВАКУЛЬТУРІ

UDC 681.5

Y. Atamanchuk; Y. Leshchynshyn, PhD.

MONITORING AND ADAPTIVE CONTROL OF WATER TOXICITY LEVEL IN AQUACULTURE

Ефективність функціонування установок замкненого водопостачання (УЗВ) безпосередньо залежить від підтримання стабільного гідрохімічного режиму. Серед ключових параметрів якості води критичним є вміст азотовмісних сполук, зокрема аміаку, який є основним продуктом метаболізму гідробіонтів. У промисловій практиці моніторинг часто обмежується вимірюванням загального аміачного азоту (TAN), проте летальний вплив на рибу здійснює лише його неіонізована форма (NH_3). Частка цієї токсичної речовини не є статичною, а змінюється за нелінійним законом залежно від температури та водневого показника (pH) середовища [1].

У роботі запропоновано метод автоматизованого керування якістю води, який базується на динамічному розрахунку індексу токсичності. На відміну від класичних порогових алгоритмів, розроблена система прогнозує рівень біологічної небезпеки, використовуючи математичну модель Емерсона:

$$\text{NH}_3 = \frac{\text{TAN}}{1 + 10^{pK_a - \text{pH}}}, \quad (1)$$

де TAN – поточна концентрація загального азоту;

pK_a – константа дисоціації, що залежить від температури води (T).

Для практичної реалізації системи обрано архітектуру розподіленої бездротової сенсорної мережі. На відміну від традиційних дротових рішень, запропонований апаратно-програмний комплекс використовує енергоефективні вузли для збору даних з датчиків та технологію LoRaWAN для їх передачі. Такий підхід дозволяє розгорнути систему моніторингу на значних площах без необхідності прокладання складної кабельної інфраструктури, яка є вразливою до агресивного вологого середовища [2, 3]. Використання бюджетних компонентів та інтеграція з хмарними сервісами забезпечує економічну доцільність впровадження системи навіть у малих фермерських господарствах [4].

Проведене моделювання (рис. 1) підтвердило, що при незмінному рівні загального азоту підвищення температури води з 15°C до 25°C у поєднанні зі зміною pH з 7.0 до 8.0 призводить до експоненційного зростання токсичності [5].

Реалізація запропонованого методу дозволяє перейти від реактивного до предиктивного керування процесами водопідготовки. Інтеграція математичної моделі токсичності безпосередньо у контур керування забезпечує своєчасну активацію виконавчих механізмів ще до настання критичних умов, що мінімізує ризики загибелі гідробіонтів та підвищує загальну надійність системи.

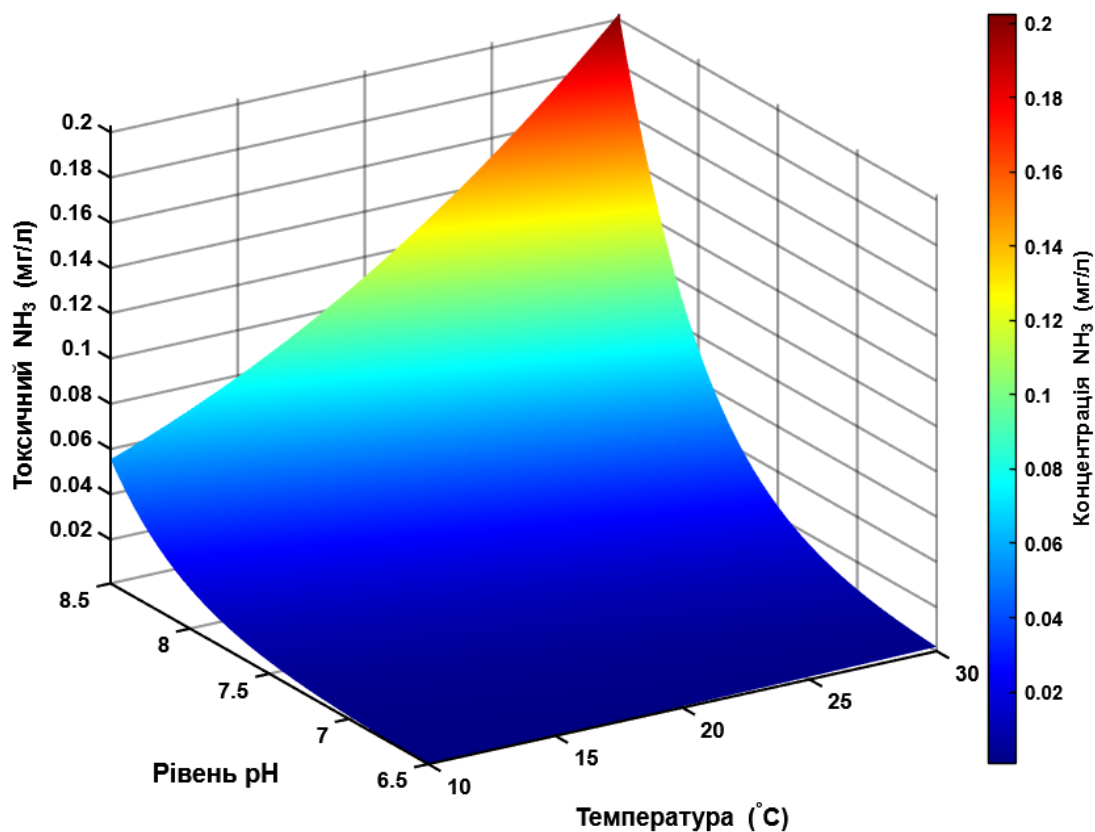


Рисунок 1. Залежність концентрації токсичного NH_3 від температури та pH

Література

1. Emerson K., Russo R. C., Lund R. E. Aqueous Ammonia Equilibrium Calculations: Effect of pH and Temperature. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 1975. Vol. 32(12). P. 2379–2383. URL: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/f75-274>.
2. 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, Iss. 3. 750. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/18/3/750>.
3. Al-Naji A., Fadhil H., Chahl J. Water Quality Monitoring System for Fish Farming Based on IoT and Machine Learning. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, Iss. 15. 6682. URL: <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/15/6682>.
4. Chowdury M. E. H. et al. A Low-Cost IoT-Based Smart Water Quality Monitoring System. *Water*. 2019. Vol. 11, Iss. 11. 2243. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/11/2243>.
5. Baena-Navarro R., Carriazo-Regino Y., Torres-Hoyos F., Pinedo-López J. Intelligent Prediction and Continuous Monitoring of Water Quality in Aquaculture: Integration of Machine Learning and Internet of Things for Sustainable Management. *Water*. 2025. Vol. 17, Iss. 1. 82. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4441/17/1/82>.