

Мічута О. Р., к.т.н., доцент, Дацишин С. Б., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, o.r.michuta@nuwm.edu.ua, s.b.datsyshyn@nuwm.edu.ua)

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКСПЕРТНІЙ СИСТЕМІ ПРОМИСЛОВОГО РИБОРОЗВЕДЕННЯ

У статті досліджується використання математичного моделювання в експертних системах для промислового риборозведення. Автори аналізують ключові методи моделювання, включаючи детерміновані, стохастичні, емпіричні моделі та моделі на основі штучного інтелекту. Наведено етапи побудови моделей, їх впровадження та інтеграції з технологіями IoT та AI для оптимізації виробництва. Представлені результати демонструють значне підвищення ефективності, зниження витрат і екологічної стійкості аквакультури. У статті також окреслено перспективи розвитку адаптивних моделей, аналізу великих даних та застосування цифрових двійників для управління процесами

Ключові слова: математичні моделі; система управління; оптимізація; риборозведення.

Математичне моделювання є ключовим інструментом у сучасних експертних системах для промислового риборозведення [1]. Зростання населення планети, зміни клімату та обмеженість природних ресурсів підштовхують людство до пошуку ефективних способів забезпечення продовольчої безпеки [5]. Рибна промисловість, зокрема аквакультура, стає важливим компонентом цієї стратегії. Однак, традиційні методи управління не завжди здатні забезпечити максимальну продуктивність і стійкість. У таких умовах математичне моделювання виступає як потужний інструмент, який дозволяє вирішувати комплексні завдання оптимізації, прогнозування та управління процесами в аквакультурі.

Огляд літератури свідчить, що математичні моделі стали основою багатьох успішних проєктів у різних країнах світу. Наприклад, дослідження Boyd & Tucker (2012) демонструють важливість точного моніторингу якості води, а Timmons & Ebeling (2010) аналізують ефективність рециркуляційних систем. Beveridge (2004) детально описує використання кліткових систем у



виращуванні риби, тоді як FAO (2018) наголошує на необхідності сталого розвитку аквакультури.

У цій статті детально розглядаються ключові аспекти математичного моделювання, інноваційні технології, а також методології побудови моделей для вирішення актуальних проблем аквакультури.

Методологія побудови математичних моделей для аквакультури включає кілька етапів.

Насамперед це визначення мети моделювання, чіткого формулювання задачі, наприклад, оптимізація росту риби, мінімізація витрат корму або прогнозування екологічних наслідків.

Збір і аналіз використання даних з польових досліджень, лабораторних експериментів і сенсорних систем. Наприклад, дані про температуру, рівень кисню, склад корму та швидкість росту риби [6], [7]. Визначення відповідного типу моделі (детерміновані, стохастичні, емпіричні або засновані на штучному інтелекті). Наприклад, для прогнозування росту риби в стабільних умовах доцільно використовувати детерміновані моделі, а для аналізу впливу зовнішніх факторів – стохастичні. Розробка математичних рівнянь полягає у формулюванні рівнянь, які описують процеси. Наприклад, рівняння фон Берталанфі для росту риби або логістичні моделі для динаміки популяції. Калібрування та валідація полягає у налаштуванні параметрів моделі на основі експериментальних даних і перевірка її точності. Наприклад, калібрування моделі подачі корму за даними польових спостережень. Інтеграція з технологіями можлива при використанні IoT-сенсорів для збору даних у режимі реального часу та AI-алгоритмів для автоматизації рішень. Фінальний етап аналізу результатів і впровадження полягає у інтерпретації результатів моделювання та впровадження рекомендацій у виробничі процеси [1], [4].

Методологія забезпечує системний підхід до розробки моделей, спрямованих на підвищення продуктивності аквакультури та зниження її впливу на довкілля.

Моделювання забезпечує точне налаштування фізико-хімічних параметрів середовища для росту риби. Наприклад, у Норвегії ферми лосося використовують модель залежності швидкості росту від температури води. Ця система дозволяє автоматизувати управління підігрівом води, знижуючи витрати на енергію на 20% у зимовий період.

Подібним чином, у Таїланді для вирощування креветок використовується модель, що враховує взаємодію рівня рН, кисню та солоності, забезпечуючи підвищення виживаності креветок на 15%.

Сучасні моделі також включають автоматизовані системи аерації, які оптимізують роботу компресорів на основі даних сенсорів. Наприклад, у рециркуляційних аквакультурних системах для форелі у США використання таких моделей дозволило знизити рівень смертності риби на 10% під час пікових періодів росту.

Розглянемо теоретичні основи математичного моделювання. Математичні моделі є основою для прогнозування та управління процесами в аквакультурі. Існує кілька типів таких моделей, кожен із яких має свої особливості, переваги та обмеження.

Детерміновані моделі характеризуються тим, що всі їхні параметри визначені точно і не залежать від випадкових факторів. Вони часто використовуються в умовах, де середовище є стабільним, а ключові змінні можуть бути легко виміряні та передбачені. Наприклад, моделі росту риби, які базуються на постійній температурі води та рівні кисню, широко застосовуються на норвезьких фермах лосося. Ці моделі допомагають підтримувати стабільний ріст риби за рахунок точного контролю умов навколишнього середовища. Серед основних переваг детермінованих моделей – простота їхньої реалізації та висока точність у передбачуваних умовах. Однак, вони мають суттєві обмеження, адже не враховують можливих випадкових змін, таких як раптові коливання погоди або інші стрес-фактори, які можуть суттєво вплинути на процеси [3].

Стохастичні моделі враховують випадкові зміни та ймовірності, що робить їх надзвичайно корисними для аналізу складних і змінних систем. Ці моделі дозволяють прогнозувати динаміку популяцій риб, враховуючи такі фактори, як хвороби, конкуренція за ресурси або вплив браконьєрства. У Швеції, наприклад, стохастичні моделі застосовуються для оцінки впливу захворювань на фермах сигів. Перевагою стохастичних моделей є їхня гнучкість і здатність моделювати реальні умови з високим рівнем точності. Водночас їх розробка і використання вимагають великих обсягів даних і значних обчислювальних ресурсів, що може ускладнити їхнє впровадження [2].

Емпіричні моделі базуються на експериментальних даних і використовуються для прогнозування результатів на основі попередніх спостережень. Наприклад, у США емпіричні моделі



застосовуються для прогнозування споживання корму залежно від вікових груп риб. Вони дозволяють швидко отримати необхідні результати, якщо дані добре узгоджуються з реальними умовами. Основною перевагою таких моделей є простота їхньої реалізації, однак вони мають обмеження у випадках, коли умови суттєво змінюються або є нестабільними [2].

Моделі на основі штучного інтелекту (ШІ) є одним із найсучасніших підходів у математичному моделюванні. Вони використовують алгоритми машинного навчання для аналізу великих обсягів даних та адаптації до нових умов. У Китаї такі моделі застосовуються для регулювання подачі корму, що дозволяє зменшити витрати на 15% і значно підвищити ефективність виробництва. Перевагою моделей на основі ШІ є їх висока точність і можливість автоматично оновлювати свої параметри на основі нових даних, однак їх впровадження пов'язане з високими початковими витратами, а також потребою в доступі до великих обсягів якісних даних і високотехнологічного обладнання.

Підводячи підсумок, варто зазначити, що математичне моделювання є основою для ефективного управління промисловим риборозведенням. Його використання сприяє оптимізації виробництва, зниженню витрат і забезпеченню екологічної стійкості [4]. Моделі дозволяють автоматизувати процеси, передбачати ризики та ухвалювати обґрунтовані рішення в реальному часі. Інтеграція математичного моделювання з сучасними технологіями, такими як штучний інтелект і IoT, відкриває нові горизонти для інновацій у галузі [7].

Одним із ключових напрямів для подальшого розвитку є створення адаптивних моделей, які здатні автоматично адаптуватися до змінних умов навколишнього середовища. Це дозволить забезпечити більш точне прогнозування навіть у складних і нестабільних умовах. Ще одним перспективним напрямком є застосування великих даних. Інтеграція моделей із платформами великих даних дозволить аналізувати складні взаємозв'язки між екологічними та біологічними параметрами, що сприятиме кращому розумінню процесів в аквакультурі. Для підвищення точності прогнозів необхідно розробляти гібридні підходи, які поєднують стохастичні моделі та алгоритми машинного навчання. Це забезпечить більшу точність і гнучкість у моделюванні. Важливим залишається питання екологічної оцінки. Розробка моделей для оцінки впливу аквакультурних систем на навколишнє середовище

допоможе мінімізувати їхній негативний вплив і сприятиме сталому розвитку галузі. Нарешті, розширення використання цифрових двійників відкриває нові можливості для оптимізації управління. Ці віртуальні моделі дозволяють проводити симуляції різних сценаріїв, що сприяє кращій підготовці операторів і зменшенню ризиків у виробничих процесах [8].

1. Boyd, C. E., & Tucker, C. S. Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer Science & Business Media. 2012. 2. Beveridge M. C. M. Cage Aquaculture. Blackwell Publishing. 2004. 3. Timmons M. B., & Ebeling J. M. Recirculating Aquaculture Systems. Ithaca Publishing Company. 2010. 4. Ross L. G., & Telfer T. C. Sustainable Aquaculture: Principles and Practices. Wiley-Blackwell. 2007. 5. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. 6. Martins C. I. M., Eding E. H., Verdegem M. C. J., Heinsbroek L. T. N., Schneider O., Blancheton J. P., ... & Verreth J. A. J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*. 2010. Vol. 43(3). P. 83–93. 7. Bostock J., McAndrew B., Richards R., Jauncey K., Telfer T., Lorenzen K., ... & Little D. Aquaculture: Global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010. Vol. 365(1554). P. 2897–2912. 8. Zhang X., & Zhang H. Big data and AI in aquaculture: Prospects and challenges. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2016. Vol. 7(6). P. 1–5.

REFERENCES:

1. Boyd, C. E., & Tucker, C. S. Pond Aquaculture Water Quality Management. Springer Science & Business Media. 2012. 2. Beveridge M. C. M. Cage Aquaculture. Blackwell Publishing. 2004. 3. Timmons M. B., & Ebeling J. M. Recirculating Aquaculture Systems. Ithaca Publishing Company. 2010. 4. Ross L. G., & Telfer T. C. Sustainable Aquaculture: Principles and Practices. Wiley-Blackwell. 2007. 5. FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. 6. Martins C. I. M., Eding E. H., Verdegem M. C. J., Heinsbroek L. T. N., Schneider O., Blancheton J. P., ... & Verreth J. A. J. New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability. *Aquacultural Engineering*. 2010. Vol. 43(3). P. 83–93. 7. Bostock J., McAndrew B., Richards R., Jauncey K., Telfer T., Lorenzen K., ... & Little D. Aquaculture: Global status and trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2010. Vol. 365(1554). P. 2897–2912. 8. Zhang X., & Zhang H. Big data and AI in aquaculture: Prospects and challenges. *Journal of Aquaculture Research & Development*. 2016. Vol. 7(6). P. 1–5.



Michuta O. R., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Datsyshyn S. B., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne, o.r.michuta@nuwm.edu.ua, s.b.datsyshyn@nuwm.edu.ua)

APPLICATION OF MATHEMATICAL MODELING IN INDUSTRIAL AQUACULTURE EXPERT SYSTEMS

Mathematical modeling plays a pivotal role in modern expert systems for industrial aquaculture. The growing global population, climate change, and limited natural resources have intensified the demand for efficient methods to ensure food security. As a critical component of sustainable food production, aquaculture increasingly relies on mathematical models to optimize growth conditions, reduce resource use, and minimize environmental impacts. This paper explores the theoretical foundations, methodology, and technological integration of mathematical models in aquaculture.

The study discusses key types of mathematical models, including deterministic, stochastic, empirical, and AI-based approaches, highlighting their applications and limitations. For example, deterministic models are utilized for stable environmental conditions, while stochastic models address uncertainties such as disease outbreaks. Empirical models support feed management, and AI-based systems enhance predictive accuracy and automation.

A comprehensive methodology for model development is outlined, encompassing data collection, equation formulation, calibration, and integration with IoT sensors and AI technologies. The benefits of using these models, such as improved efficiency, risk mitigation, and ecological sustainability, are demonstrated through global case studies.

The paper concludes with recommendations for future research, emphasizing the development of adaptive models, big data integration, hybrid modeling approaches, environmental impact assessment, and the expansion of digital twin technology. These advancements promise to further enhance aquaculture's contribution to global food security and environmental conservation.

Keywords: mathematical modeling; aquaculture; expert systems; AI integration; sustainability.