

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

## Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістра»

### Оптимізація методів вирощування об'єктів індустріальної аквакультури Optimization of methods for growing industrial aquaculture facilities

Виконав: студент 2 курсу денної форми навчання  
спеціальності 207 Водні біоресурси та аквакультура  
Освітньо-професійна програма Охорона, відтворення та  
раціональне використання гідробіоресурсів

\_\_\_\_ Матлаєв Валентин Валентинович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник \_\_\_\_ Лічна А.І. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент \_\_\_\_ доц., д.с-г.н., Лобойко Ю. В. \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:  
Протокол засідання кафедри  
водних біоресурсів та аквакультури  
№ \_\_\_\_ від \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2024 р.

Завідувачка кафедри  
\_\_\_\_ БУРГАЗ Марина \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 7  
протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2024 р.

Оцінка \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_  
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК  
\_\_\_\_ ГАЙДАШЕНКО Ірина \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2024

Анотація

**ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДІВ ВИРОЩУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ**  
**ІНДУСТРІАЛЬНОЇ АКВАКУЛЬТУРИ**

**Матлаєв В.В., магістр кафедри Водних біоресурсів та аквакультури**

Оптимізація методів вирощування об'єктів індустріальної аквакультури є важливим напрямом для забезпечення сталого розвитку галузі. Вона передбачає вдосконалення технологій культивування гідробіонтів, таких як риби, молюски, ракоподібні та водорості, шляхом впровадження сучасних підходів до годування, моніторингу середовища, регулювання фізико-хімічних параметрів води та запобігання хворобам.

Мета роботи полягала у обґрунтуванні методів оптимізації технологічних процесів вирощування об'єктів індустріальної аквакультури, спрямовані на підвищення продуктивності, ефективності використання ресурсів і забезпечення екологічної сталості виробництва,

Завданнями роботи передбачалось дослідити вплив основних факторів (температура, рН, розчинений кисень, солоність, амоній, нітрити) на ріст, розвиток і продуктивність аквакультурних об'єктів, оцінити існуючі методи годівлі та складу кормів, їх вплив на ріст і здоров'я об'єктів аквакультури, а також економічну ефективність, провести аналіз економічної доцільності та біологічних особливостей окремих об'єктів аквакультури (риба, молюски, ракоподібні) для їх промислового вирощування в різних умовах.

В результаті проведених досліджень визначені основні методи оптимізації вирощування об'єктів аквакультури, включаючи використання інноваційних технологій, систем рециркуляції води (RAS), автоматизацію процесів, біотехнології, покращення кормів та моніторинг параметрів водного середовища для підвищення ефективності виробництва й зниження екологічного впливу.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на 70 сторінках, містить 6 рисунків, 13 таблиць та 50 літературних джерел.

*Ключові слова:* індустріальна аквакультура, оптимізація, вирощування, гідробіонти, рециркуляційні системи, екологічна сталість, годівля, біотехнології, продуктивність, середовище аквакультури.

## **SUMMARY**

### **OPTIMIZATION OF METHODS FOR GROWING INDUSTRIAL AQUACULTURE FACILITIES**

Matlaev V, master of the Water bioresources and aquaculture department

Optimization of methods of cultivation of industrial aquaculture facilities is an important direction for ensuring sustainable development of the industry. It involves improving the cultivation technologies of aquatic organisms, such as fish, mollusks, crustaceans and algae, by implementing modern approaches to feeding, environmental monitoring, regulation of physicochemical parameters of water and prevention of diseases.

The purpose of the work was to substantiate methods for optimizing technological processes for growing industrial aquaculture facilities, aimed at increasing productivity, resource efficiency and ensuring environmental sustainability of production.

The objectives of the work were to investigate the influence of the main factors (temperature, pH, dissolved oxygen, salinity, ammonium, nitrites) on the growth, development and productivity of aquaculture facilities, to assess existing feeding methods and feed composition, their impact on the growth and health of aquaculture facilities, as well as economic efficiency, to analyze the economic feasibility and biological characteristics of individual aquaculture facilities (fish, mollusks, crustaceans) for their industrial cultivation in different conditions.

As a result of the research, the main methods for optimizing the cultivation of aquaculture facilities were identified, including the use of innovative technologies, water recirculation systems (RAS), process automation, biotechnology, feed improvement and monitoring of aquatic environment parameters to increase production efficiency and reduce environmental impact.

The qualification master's thesis is completed on 70 pages, contains 6 figures, 13 tables and 50 references.

*Keywords:* industrial aquaculture, optimization, cultivation, aquatic organisms, recirculation systems, environmental sustainability, feeding, biotechnology, productivity, aquaculture environment.

## ЗМІСТ

|                                                                                                            |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ВСТУП</b>                                                                                               | <b>3</b>  |
| <b>1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ІНДУСТРІАЛЬНОГО РИБНИЦТВА</b>                           | <b>5</b>  |
| 1.1 Сучасні тенденції та виклики в індустріальній аквакультурі України                                     | 5         |
| 1.2 Аналіз світового досвіду вирощування водних біоресурсів                                                | 12        |
| 1.3 Особливості вирощування основних об'єктів індустріального рибництва України та країн світу             | 18        |
| <b>2 МЕТОДИ ВИРОЩУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ АКВАКУЛЬТУРИ</b>                                                          | <b>24</b> |
| 2.1 Методи вирощування у аквакультурі: від традиційних до сучасних технологій                              | 24        |
| 2.2 Критерії вибору видів для промислової аквакультури                                                     | 28        |
| <b>3 ОСОБЛИВОСТІ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНДУСТРІАЛЬНОЇ АКВАКУЛЬТУРИ</b>                 | <b>40</b> |
| 3.1 Параметри водного середовища (температура, солоність, рН) і їх вплив на розвиток об'єктів аквакультури | 40        |
| 3.2 Режим годівлі, оптимізація складу кормів                                                               | 47        |
| 3.3 Системи контролю за станом води та підтримка здоров'я аквакультурних об'єктів                          | 55        |
| <b>ВИСНОВКИ</b>                                                                                            | <b>64</b> |
| <b>ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ</b>                                                                | <b>67</b> |

## ВСТУП

Сучасний розвиток аквакультури як галузі сільського господарства має важливе значення для забезпечення продовольчої безпеки, ефективного використання водних ресурсів та збереження природних екосистем. Індустріальна аквакультура, як інтенсивна форма рибництва, дозволяє вирощувати значні обсяги високоякісної рибної продукції на обмежених територіях із мінімальним впливом на навколишнє середовище. [1]

Рибне господарство в традиційному розумінні означає заходи щодо відтворення та розведення риби, а також харчових безхребетних і водоростей, тобто рибне господарство має на увазі аквакультуру. В даний час до рибного господарства прийнято також відносити рибний промисел, що не зовсім правильно.

Під аквакультурою розуміється розведення риб, харчових безхребетних та водоростей у контрольованих умовах. Аквакультура поділяється на марикультуру (риб, безхребетних та водоростей) та прісноводну аквакультуру (в основному рибництво). Остання включає основні складові: нагульне (пасовищне) рибництво, ставкове рибництво і індустріальне рибництво. Індустріальне рибництво складається з озерних, садкових і басейнових господарств, систем з оборотним водозабезпеченням (COB) та установок із замкнутим циклом водозабезпечення (УЗВ). [1]

Індустріальна аквакультура є самостійною системою виробництва, яка не залежить від природних чи частково змінених водних екосистем для вирощування риби. На практиці виявляється, що багато функцій, які виконуються водними екосистемами, можуть бути замінені спеціалізованим обладнанням, що часто працює набагато ефективніше. Це дозволяє досягати високих результатів у виробництві рибної продукції на рибоводних установках.

Завдяки високому рівню технічного забезпечення та продуктивності, індустріальне рибництво є найрозвинутішою формою сучасної прісноводної аквакультури. [1]

Метою кваліфікаційної роботи магістра стало обґрунтувати методи оптимізації технологічних процесів вирощування об'єктів індустріальної аквакультури, спрямовані на підвищення продуктивності, ефективності використання ресурсів і забезпечення екологічної сталості виробництва.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідити вплив основних факторів (температура, рН, розчинений кисень, солоність, амоній, нітрити) на ріст, розвиток і продуктивність аквакультурних об'єктів.
2. Оцінити існуючі методи годівлі та складу кормів, їх вплив на ріст і здоров'я об'єктів аквакультури, а також економічну ефективність.
3. Провести аналіз економічної доцільності та біологічних особливостей окремих об'єктів аквакультури (риба, молюски, ракоподібні) для їх промислового вирощування в різних умовах.
4. Вивчити вплив індустріальної аквакультури на довкілля та розробити рекомендації щодо мінімізації екологічних ризиків.
5. Визначити ключові напрями вдосконалення технологій індустріальної аквакультури, які забезпечать її сталий розвиток у майбутньому.

Об'єкт дослідження - Об'єкти індустріальної аквакультури, такі як риба, ракоподібні, молюски та інші водні організми, що вирощуються у промислових масштабах для забезпечення продовольчих потреб..

Предмет дослідження - Методи оптимізації вирощування об'єктів аквакультури, включаючи використання інноваційних технологій, систем рециркуляції води (RAS), автоматизацію процесів, біотехнології, покращення кормів та моніторинг параметрів водного середовища для підвищення ефективності виробництва й зниження екологічного впливу.

# **1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТА ПЕРСПЕКТИВ РОЗВИТКУ ІНДУСТРІАЛЬНОГО РИБНИЦТВА**

## **1.1 Сучасні тенденції та виклики в індустріальній аквакультурі**

Аквакультура є однією з найбільш динамічно розвиваючих галузей у світі, що відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та раціональному використанні природних ресурсів. Індустріальна аквакультура, як її інтенсивна форма, спрямована на виробництво великих обсягів рибної та іншої аквакультурної продукції за допомогою високотехнологічних методів. Проте сучасний розвиток галузі супроводжується як новими перспективами, так і значними викликами. Попит на рибну продукцію постійно зростає, що стимулює розвиток аквакультури. За даними ФАО, близько 50% усієї риби, споживаної у світі, походить із аквакультурних господарств. Індустріальна аквакультура забезпечує значний внесок у цей показник завдяки використанню інтенсивних технологій вирощування.

Індустріальна аквакультура стала однією з найшвидше зростаючих галузей світового сільського господарства, забезпечуючи значну частину харчових ресурсів. В умовах глобального зростання населення та виснаження природних рибних запасів, аквакультура набуває стратегічного значення. Проте її розвиток супроводжується як новими можливостями, так і серйозними викликами, що вимагають інноваційних рішень. Розробка інтенсивних систем аквакультури, таких як рециркуляційні аквакультурні системи (RAS), дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів. Ці системи мінімізують вплив на довкілля і забезпечують контроль за умовами вирощування риб. Популярності набувають системи аквапоніки, які поєднують вирощування риби і рослин. Цей підхід сприяє більш ефективному використанню води і поживних речовин.

Застосування генетичних і біотехнологічних методів, таких як селекція стійких до хвороб видів риб, використання пробіотиків і оптимізація кормів, сприяє підвищенню продуктивності та зниженню ризиків. Зростає попит на екологічно чисту аквакультуру з мінімальним впливом на екосистеми. Використання рослинних інгредієнтів у кормах та екологічні системи утримання стають стандартами. [2-4]

Індустріальна аквакультура – одна з найдинамічніших галузей у сфері продовольства. В умовах зростаючого попиту на рибу та морепродукти, а також необхідності збереження природних морських ресурсів, ця галузь активно впроваджує новітні технології та адаптується до викликів. Аналізуючі сучасні тенденції в індустріальній аквакультурі світу можна з'ясувати що лідером серед країн є Норвегія (табл.1.1). [2-4]

Таблиця 1.1 – Сучасні тенденції в індустріальній аквакультурі світу

| Тенденції                     | Опис                                                                                                           | Приклади країн           |
|-------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 1                             | 2                                                                                                              | 3                        |
| Стійкі технології             | Використання біофлорів, систем рециркуляції води, зменшення використання антибіотиків та оптимізація ресурсів. | Норвегія, Індія, В'єтнам |
| Автоматизація та цифровізація | Впровадження автоматичних систем годування, сенсорних систем для моніторингу                                   | Норвегія, Китай, Чилі    |

| Тенденції                                               | Опис                                                                                                                                                   | Приклади країн       |
|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| 1                                                       | 2                                                                                                                                                      | 3                    |
|                                                         | якості води та здоров'я<br>риб.                                                                                                                        |                      |
| Розвиток генетики та<br>селекції                        | Генетичні дослідження<br>для покращення росту,<br>стійкості до хвороб і<br>адаптації риб до різних<br>умов.                                            | США, Норвегія, Китай |
| Інтеграція аквакультури<br>з сільським<br>господарством | Поєднання аквакультури<br>з вирощуванням рослин<br>(аквапоніка) або<br>рисовими полями, що<br>знижує витрати та<br>оптимізує використання<br>ресурсів. | В'єтнам, Таїланд     |
| Слідкування за<br>походженням продукції                 | Використання<br>блокчейну та цифрових<br>платформ для<br>підвищення прозорості<br>щодо походження і умов<br>виробництва водних<br>біоресурсів.         | ЄС, США, Канада      |

Виробники впроваджують технології, що мінімізують негативний вплив на навколишнє середовище. Системи рециркуляції води (RAS), біофлокові системи, мінімальне використання антибіотиків та перехід на екологічні корми стали

пріоритетом у багатьох країнах. Як приклад можна розглянути Норвегію, яка активно використовує системи RAS у вирощуванні лосося, а Індія розробляє біофлокові системи для креветок. [2-4]

Удосконалюються автоматизовані системи годування, моніторингу здоров'я риб та якості води, що забезпечує стабільний ріст продуктивності. Штучний інтелект і сенсорні технології дозволяють відслідковувати стан води та забезпечують своєчасне втручання у випадку відхилень.

Генетична селекція забезпечує підвищену стійкість до хвороб, прискорене зростання та кращу адаптацію до умов середовища. Ці заходи дозволяють зменшити втрати риби та підвищити ефективність виробництва. США та Китай активно інвестують у дослідження генетики риб та креветок для збільшення продуктивності акваферм. [2-4]

Аквапонічні системи, що поєднують вирощування риби з вирощуванням рослин, дозволяють знижувати витрати на добрива, ефективно використовувати воду та зменшувати відходи. Наприклад В'єтнам інтегрує аквакультуру з вирощуванням рису, що покращує продуктивність обох видів продукції

Використання технології блокчейн для відстеження походження продукції стає новою нормою для забезпечення прозорості ланцюга поставок. Це підвищує довіру споживачів до якості та безпечності продукції. Все більше країн ЄС запроваджують системи відстеження походження продукції для задоволення потреб споживачів у безпечній та прозорій продукції.

Швидкий розвиток аквакультури значною мірою зумовлений країнами Південно-Східної Азії, де виробництво цінних і делікатесних морепродуктів постійно зростає, а глобальний ринок вимагає все більших обсягів поставок. Вирощування риби, креветок, крабів, молюсків, водоростей, а також крокодилів – все це складові сучасної аквакультури, одного з найбільш різноманітних секторів сільськогосподарського виробництва. [2-4]

Згідно з науковими дослідженнями, природні водойми України можуть бути зариблені без шкоди для навколишнього середовища та місцевої фауни такими видами риб, як білий і строкатий товстолобик, білий і чорний амур, короп (сазан), щука, судак, європейський сом, вирезуб, лин, осетрові, кефалеві, камбалові риби та веслонос. Всі ці види мають високу споживчу цінність, не завдають шкоди екосистемам і користуються попитом на ринку. Деякі з них є місцевими видами, що знаходяться під загрозою зникнення, тому потребують спеціального захисту для збереження та відновлення природних популяцій. [4]

Індустріальна аквакультура може негативно впливати на довкілля, спричиняючи забруднення водойм, поширення інвазивних видів, втрату біорізноманіття та зміни екосистем. Наприклад у Бразилії та Індонезії значні втрати біорізноманіття через неконтрольоване вирощування риби та креветок. [4]

Індустріальна аквакультура може негативно впливати на довкілля, спричиняючи забруднення водойм, поширення інвазивних видів, втрату біорізноманіття та зміни екосистем. Наприклад у Бразилії та Індонезії значні втрати біорізноманіття через неконтрольоване вирощування риби та креветок.

Сучасна індустріальна аквакультура перебуває на етапі динамічного розвитку, поєднуючи в собі інноваційні можливості та значні виклики. Для забезпечення її сталого розвитку необхідно впроваджувати екологічно чисті технології, інтегрувати наукові розробки, удосконалювати управлінські процеси і сприяти соціальній гармонії. Тільки за таких умов аквакультура зможе стати ключовим елементом глобальної продовольчої безпеки.

Індустріальна аквакультура стикається з багатьма викликами, які можуть впливати на сталий розвиток, продуктивність і економічну ефективність. Індустріальне рибництво стрімко розвивається, але стикається з низкою викликів, що обмежують його ефективність, екологічну сталість і довгостроковий потенціал. Ключові проблеми, які сьогодні постають перед галуззю наведені в таблиці 1.2. [2-4]

Таблиця 1.2 – Ключові проблеми індустріальної аквакультури

| Виклики                            | Опис                                                                                                                                     | Приклади                        |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Екологічний вплив                  | Забруднення водойм, втрати біорізноманіття, поширення інвазивних видів та використання хімічних речовин.                                 | Бразилія, Індонезія             |
| Зміни клімату                      | Підвищення температури води, підкислення океанів та екстремальні погодні явища, що впливають на виробництво та здоров'я водних ресурсів. | Усі країни-виробники            |
| Боротьба з хворобами та паразитами | Ризики виникнення епідемій серед водних організмів через інтенсивне виробництво та погані умови.                                         | Чилі (лосось), Індія (креветки) |
| Ринок та ціни                      | Коливання цін на продукцію через зміни попиту, конкуренцію з дикою рибою та тиск з боку споживачів на стійкі практики.                   | ЄС, США                         |
| Регуляторні обмеження              | Жорсткі вимоги щодо якості продукції, умов виробництва та охорони навколишнього середовища, що підвищує витрати виробників.              | ЄС, Норвегія, Австралія         |

Індустріальна аквакультура може негативно впливати на довкілля, спричиняючи забруднення водойм, поширення інвазивних видів, втрату біорізноманіття та зміни екосистем. Наприклад у Бразилії та Індонезії значні втрати біорізноманіття через неконтрольоване вирощування риби та креветок.

Підвищення температури води та кислотності океанів, а також екстремальні погодні умови можуть порушити нормальне функціонування

акваферм і поставити під загрозу здоров'я водних організмів. Країни з теплим кліматом, такі як Індонезія та Філіппіни, стикаються зі збільшенням кількості морів з низьким рівнем кисню. [2-4]

Інтенсивне виробництво створює умови для швидкого поширення хвороб і паразитів, що призводить до втрат і значних фінансових витрат на лікування. Чилійська індустрія лосося має серйозні проблеми з паразитами, такими як морський воша. [2-4]

Світові ринки аквакультури чутливі до змін попиту та цін на продукцію, особливо в умовах зростаючого інтересу до дикої риби. Це створює додаткові ризики для фермерів. У країнах ЄС аквакультурні продукти конкурують з дешевшою дикою рибою, що ускладнює рентабельність виробництва.

Жорсткі вимоги до якості продукції, умов вирощування та захисту навколишнього середовища можуть створювати бар'єри для розвитку аквакультури та збільшувати витрати на виробництво. ЄС та Норвегія мають високі стандарти для продукції аквакультури, що змушує виробників дотримуватися складних регуляцій. [2-4]

Індустріальна аквакультура має великі можливості для зростання, але водночас стикається з низкою екологічних, економічних і соціальних викликів. Інновації та міжнародна співпраця можуть допомогти подолати ці труднощі та забезпечити стійкий розвиток галузі. [5-8]

Аналіз поточного стану рибної галузі вказує на необхідність розробки національної програми розвитку індустріальної аквакультури. Ця програма повинна включати заходи в таких напрямках, як наукове, законодавче, фінансове та матеріально-технічне забезпечення. Серед стратегічних завдань варто відзначити розробку та впровадження системи раціонального використання біорізноманіття внутрішніх водойм, а також оперативні заходи, що потребують державної підтримки. Це стосується селекційно-племінної роботи з об'єктами культивування, охорони природного біорізноманіття водних екосистем, освоєння

та впровадження економічно ефективних і екологічно безпечних технологій аквакультури, а також забезпечення виробництва безпечної харчової продукції. [5-8]

Індустріальна аквакультура є перспективним напрямком розвитку сільського господарства, який сприяє задоволенню зростаючого попиту на високоякісну рибну продукцію. Однак для забезпечення сталого розвитку галузі необхідно долати екологічні, економічні та технологічні виклики. Впровадження інноваційних рішень, раціональне використання ресурсів та дотримання принципів екологічної сталості є ключовими умовами успішного розвитку індустріальної аквакультури. [5-9]

## **1.2 Аналіз світового досвіду вирощування водних біоресурсів**

Вирощування водних біоресурсів (аквакультура) стрімко розвивається у світі, задовольняючи потребу в рибі та морепродуктах, зберігаючи водночас природні запаси океану. Світовий досвід вирощування водних біоресурсів, або аквакультури, показує стрімкий розвиток цієї галузі в останні десятиліття. Основні країни-виробники – Китай, Індія, Індонезія, В'єтнам і Норвегія – стали лідерами завдяки використанню інноваційних технологій, регуляторних заходів та підтримці державних програм. Успіх цих країн часто пояснюється поєднанням ефективного управління, наукових досліджень та інтеграції технологій, таких як системи рециркуляції води, автоматизація процесів годування та моніторингу якості води. [10-11]

Китай є світовим лідером аквакультури, забезпечуючи понад 60% глобального виробництва. Країна вирощує широкий спектр видів, включаючи рибу, молюсків і водорості. Китайські фермери використовують багатовікові традиції та сучасні методи, такі як замкнені водні екосистеми, що мінімізують

вплив на довкілля. Країна також розвиває інноваційні моделі, наприклад, ферми на глибоководних платформах у морі

Норвегія – один із найбільших експортерів лосося, який розвиває свою аквакультуру завдяки державним інвестиціям у технології та жорсткому регулюванню. Норвезькі ферми використовують морські садки з технологіями штучного інтелекту, які моніторять умови середовища і здоров'я риб. Такі підходи дозволяють Норвегії мінімізувати екологічний вплив, водночас забезпечуючи високий рівень продуктивності. Програми боротьби з паразитами, наприклад, із морською вошею, а також скорочення використання антибіотиків допомогли створити екологічно стійку галузь. [10-11]

Індія та Індонезія – ключові експортери креветок, які вирощують креветки та прісноводну рибу на біофлокових фермах, що використовують бактеріальні сполуки для очищення води. Ці країни активно розвивають експорт, застосовуючи стійкі методи вирощування. Індія, наприклад, інвестує в біофлокові технології, що мінімізують забруднення і зменшують потребу у воді.

В'єтнам славиться інтегрованими фермами, де аквакультура поєднується з вирощуванням рису. Це дозволяє знижувати витрати на добрива і забезпечувати обидві культури необхідними поживними речовинами. Така інтеграція забезпечує сталість виробництва, знижує потребу у воді та сприяє додатковому доходу для фермерів. [10-11]

За період 2020-2024 років, світове виробництво водних біоресурсів продемонструвало значне зростання завдяки аквакультурі, яка тепер перевищує вилов з дикої природи і стає основним джерелом водних продуктів. Згідно зі звітом FAO 2024 року, світове виробництво у 2022 році досягло 223,2 мільйона тонн, з яких 130,9 мільйона тонн припадає на аквакультуру, включаючи 94,4 мільйона тонн аквакультурних тварин. Це вперше в історії, коли обсяги аквакультури перевищили вилов з дикої природи, що відображає глобальний зсув

у бік вирощування водних ресурсів для задоволення попиту на продукти морепродуктів.[10-11]

Виробництво у морському рибальстві залишалося відносно стабільним, з обсягом у 92,3 мільйона тонн у 2022 році, хоча частка стійко експлуатованих морських запасів знизилася до 62,3% у 2021 році. Це свідчить про потребу у більш ефективному управлінні рибними ресурсами для підтримання біологічної стійкості.[10-11]

Азія залишається головним регіоном у виробництві водних біоресурсів, забезпечуючи близько 70% загального обсягу, в основному за рахунок таких країн, як Китай, Індія, Індонезія та В'єтнам. Латинська Америка та Карибський регіон виробили близько 17,7 мільйона тонн (8% світового обсягу), зокрема завдяки Перу та Чилі.[10-11]

У цілому, зростання аквакультури є важливим фактором для забезпечення продовольчої безпеки та задоволення глобального попиту на високоякісні білки, але розвиток галузі потребує інвестицій у стійкі технології та інноваційні підходи для мінімізації екологічного впливу. [10-11]

З 1995 року обсяг добування біоресурсів становив близько 400,1 тис. тонн, тоді як у 2019 році цей показник знизився до 74,7 тис. тонн, що є зменшенням на 81,3%. За підсумками 2019 року загальний обсяг вилову риби та інших водних біоресурсів в Україні склав лише 74,7 тис. тонн, що на 16,5 тис. тонн менше порівняно з 2014 роком. У порівнянні з 2013 роком вилов риби зменшився на 151,1 тис. тонн, що становить майже 66,9%.[10-11]

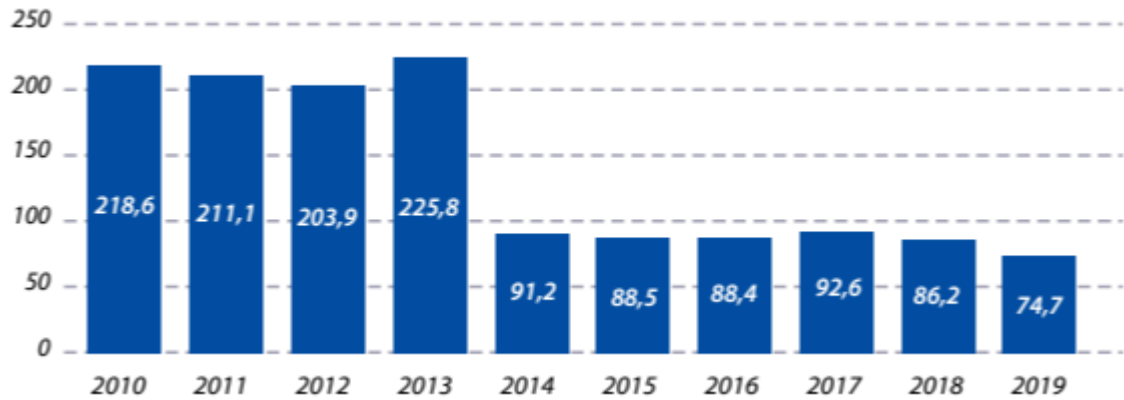


Рис.1.1 - Динаміка обсягу вилову риби та добування інших водних біоресурсів за 2010-2019 роки. (за даними ФАО)

Основою сталого розвитку рибництва та аквакультури є ефективне використання водних біоресурсів, що є ключовим елементом продовольчої безпеки та визначатиме її стан у найближчому майбутньому, враховуючи глобальні тенденції. Згідно з українським законодавством (Закон України «Про рибне господарство, промислове рибальство та охорону водних біоресурсів» від 08.07.2011 № 3677-VI), водні біоресурси — це сукупність водних організмів (гідробіонтів), які існують лише у водному середовищі. Це включає прісноводні, морські, анадромні та катадромні риби на всіх стадіях розвитку, круглоротих, водних безхребетних (молюсків, ракоподібних, червів, голкошкірих), губок, кишковопорожнинних, а також водорості та інші водні рослини.

Сучасні глобальні тренди вказують на зростання ролі рибництва та аквакультури як важливих елементів сталого продовольчого забезпечення, а також екологічно збалансованих агропродовольчих систем. Аквакультура, зокрема, займає дедалі більшу частку у світовому виробництві рибної продукції, забезпечуючи майже половину загального обсягу використання всіх водних біоресурсів. [12-15]

Згідно зі статистикою, наданою Міжнародною організацією з сільського господарства та продовольства (FAO), спостерігається значне зростання виробництва та споживання риби (табл. 1). Якщо 15–20 років тому частка продукції аквакультури становила лише 30% від загального обсягу вилову водних біоресурсів, то останнім часом цей показник зріс до 46%.

Також спостерігається зростання міжнародної торгівлі рибою та рибними продуктами. На сьогодні світовий експорт риби оцінюється на рівні близько 164 млрд доларів США, а середнє споживання риби на душу населення складає майже 20,5 кг на рік.

Розвиток аквакультури в глобальному масштабі є важливим чинником, що відповідає на проблему виснаження природних водних біоресурсів через їх надмірне використання. Саме аквакультура визначатиме майбутнє світового рибництва.. [12-15]

Протягом останніх кількох років українські агровиробники значно зміцнили свої позиції на міжнародних ринках. Зокрема, особливо виразно це проявляється в секторі органічної продукції, що забезпечує значний прибуток у валюті. Завдяки стабільному попиту на органічні продукти та зростанню усвідомлення споживачів щодо важливості екологічно чистої та якісної продукції, ринок Європейського Союзу стає одним із найбільш привабливих для українських виробників. ЄС, як найбільший і найближчий ринок, відкриває широкі можливості для експорту органічних товарів. Великі масштаби цього ринку та висока платоспроможність його споживачів сприяють стабільному зростанню попиту та рентабельності українських виробників органічної продукції. Аграрний сектор є важливою складовою української економіки, формуючи майже 14 % валового внутрішнього продукту та забезпечуючи роботою п'яту частину зайнятого населення. За прогнозами на 2021 рік, сільське господарство країни зросте на 5 %.[12-15]

Згідно з даними ФАО, 2020 року зазначено, що стан аквакультури буде залежати від багатьох факторів, для вирішення яких потрібно спільно об'єднатися на глобальному, регіональному та місцевому рівнях. Зростання населення, підвищення доходів та зміни у споживчих звичках дійсно призводять до збільшення попиту на продовольство, включаючи рибну продукцію. [12-15]

Аналізуючи тенденції розвитку галузі, можна прогнозувати, що найближчим часом значну частину світових запасів риби виловлюватимуть у межах сталих обсягів. Унаслідок цього аквакультура стане основним джерелом для покриття розриву між попитом зростаючого населення планети та обмеженими обсягами вилову дикої риби. Водночас розвиток аквакультури ставить низку викликів, пов'язаних із використанням ресурсів та впливом зовнішніх факторів, таких як захворювання, що посилюються через кліматичні зміни. [12-15]

У межах сталого розвитку аквакультури зростає конкуренція технологій, що стимулює вдосконалення замкнутих рециркуляційних систем, які є незалежними від кліматичних умов. Ці системи дозволяють отримувати рибопосадковий матеріал у коротші терміни та довели свою ефективність у вирощуванні цінних видів риб, таких як осетрові, сомові, тиляпії та лососеві. Досвід інших країн свідчить, що оптимальним рішенням для господарств марикультури є облаштування великих садків на значній відстані від узбережжя.

Згідно з результатами моніторингу, темпи зростання світового споживання риби перевищують аналогічні показники для м'яса сухопутних тварин і випереджають темпи приросту населення Землі. Так, споживання риби на душу населення зросло з 9,0 кг у 1961 році до 20,5 кг у 2017 році, а середній річний приріст становив 1,5 %. Поряд зі збільшенням виробництва, позитивний вплив на ці показники мало також скорочення втрат і відходів. У 2015 році риба забезпечувала близько 17 % загального споживання тваринного білка у світі, а

для 3,2 мільярда осіб вона становила близько 20 % їхнього раціону білків тваринного походження [16-18].

Розвиток рибної галузі є критично важливим для забезпечення належного рівня життя в Україні та підтримки сталого розвитку країни. Сфера охоплює океанічний і морський промисел, рибальство у внутрішніх водоймах, аквакультуру, марикультуру, підприємства з переробки риби, установи з охорони рибних ресурсів, а також наукові та освітні заклади. За даними ФАО, глобальний вилов риби досяг максимально можливих меж. З 2000 року темпи зростання аквакультури на світовому рівні знизилися порівняно з періодами 1980-х (10,8 %) і 1990-х років (9,5 %). Проте цей сектор і надалі демонструє швидший розвиток, ніж інші продовольчі галузі. У 2001–2016 роках середньорічне зростання становило 5,8 %, хоча в окремих регіонах, зокрема в Африці, у 2006–2010 роках ці показники залишалися на рівні двозначних значень. [16-18]

### **1.3 Особливості вирощування основних об'єктів індустріального рибництва України та країн світу**

Індустріальне рибництво є важливим сектором аквакультури, що спрямований на задоволення зростаючого попиту на рибну продукцію. Основними об'єктами вирощування є високопродуктивні види риб, які адаптовані до умов інтенсивного утримання, включаючи атлантичного лосося, тилapia, кларієвого сома, коропа, сібаса та дорадо. Успіх у вирощуванні залежить від правильно підібраної технології годівлі, складу кормів і параметрів утримання. Ефективне вирощування об'єктів індустріального рибництва залежить від адаптації технологій до біологічних особливостей кожного виду риби. Рациональна годівля та оптимізація складу кормів є ключовими факторами,

що забезпечують економічну ефективність виробництва та екологічну сталість. [19-21]

Осетрові та лососеві риби займають особливе місце у світовій аквакультурі, що обумовлено їхньою високою харчовою цінністю. Для покращення стану запасів осетрових та лососевих риб в основних промислових басейнах необхідно прискорити розвиток аквакультурного індустріального вирощування на основі інтенсивних технологій та проводити поступовий переведення підприємств із відтворення на нові технології та методи вирощування. [19-21]

Поряд із штучним відтворенням цінних промислових риб для збереження та поповнення їх природних популяцій є необхідним підтримання задовільного стану екосистем водойм, суворе охорона гідробіонтів на різних етапах життєвого циклу. Заходи з охорони природного відтворення лососевих та осетрових дають позитивний результат лише в тих регіонах, де нерестові популяції зберігають достатню чисельність і знаходяться у задовільному стані, що забезпечує необхідний рівень відновлення запасів. Однак у багатьох районах світу ці умови вже порушені, тому дедалі більшого значення набуває кероване відтворення. Зокрема, активно застосовуються методи штучного вирощування молоді з подальшим випуском у природні водойми. [20]

Штучне розведення як метод відновлення популяцій прохідних риб має низку переваг, серед яких контроль на всіх етапах розвитку від ембріонів до мальків. Такий підхід дає змогу вирощувати потомство із заданими характеристиками, необхідного розміру та якості, забезпечуючи при цьому вищий рівень безпеки для особин. Крім того, це сприяє ефективній селекції, що підвищує життєздатність молодняку. Сучасне рибництво може бути перспективною галуззю рибного господарства за умови інтенсивного вирощування життєстійкої молоді для подальшої інтродукції у природні водойми. Представники сімейств осетрових та лососевих є прохідними, напівпрохідними та прісноводними видами. Технологія вирощування ранньої

молоді цих риб в індустріальних господарствах базується на тому, що всі процеси вирощування здійснюються в басейнах від вилуплення вільних ембріонів, до досягнення стандартної маси. Особливу увагу необхідно приділити найбільш уразливим ланкам технічного процесу, інкубації ікри та підрощування личинок. Саме в ранньому онтогенезі під час підрощування личинок і ранніх мальків відбувається основна загибель до 50-80%, що пов'язано з поганими умовами утримання та низькою поживністю стартових комбікормів. Виробництво посадкового матеріалу осетрових та лососевих у достатній кількості – найважливіша умова індустріального рибництва. У індустріальних господарствах технологія вирощування молоді ґрунтується на тому, що всі біотехнологічні процеси від взяття статевих продуктів та вилуплення вільних ембріонів до досягнення молоддю стандартної маси проходять в керованих умовах. Для вирощування молоді осетрових та лососевих риб найчастіше використовують басейни «шведського» типу з круговим струмом води. У ряді конструкцій, поряд із центральним, є периферичний стік. Глибина шару води може регулюватися від 01 до 08 м. [19-21]

При басейновому способі вирощування одним з найвідповідальніших моментів є своєчасне очищення дна від залишків не з'їденого корму та фекалій риб.

Основним завданням підприємств із штучного відтворення цінних прохідних видів риб є успішне вирощування та випуск у природні водоймища життєздатної молоді для поповнення природних популяцій. Причому для отримання високого промислового повернення дуже важливо вирощувати фізіологічно повноцінну молодь осетрових риб. Це досить складно здійснити лише на основі методу ставкового вирощування через слабку керованість умовами середовища. Відновлення чисельності популяцій, які зменшилися внаслідок надмірного вилову, погіршення умов середовища або інших антропогенних чинників. Збереження біорізноманіття шляхом культивування

видів, які мають високу екологічну чи комерційну цінність. Вирощування мальків для випуску у природні водойми з метою поповнення рибних запасів для подальшого рибальства. Надання рибогосподарствам здорового зарибку для комерційного вирощування. Забезпечення збереження генетичного потенціалу видів та виведення більш продуктивних порід. Сприяння підтримці екологічного балансу у водоймах через регулювання кількості певних видів риб. [21]

Складності ставкового методу вирощування осетрових риб полягають у тому, що посадковий матеріал знаходиться у важко контрольованих умовах від початку звільнення кишківника від меланінової пробки та переходу на активне харчування. При ставковому методі вирощування відбувається значна втрата цінного посадкового матеріалу, особливо ранніх найбільш чутливих стадіях розвитку. У ставкових умовах найчастіше використовується вода недостатньо хорошої якості, оскільки застосовується без попередньої водопідготовки. Проблема попередньої водопідготовки при вирощуванні ранньої молоді різних видів риб нині стоїть дуже гостро. Водне середовище є основним потенційним носієм забруднюючих речовин, що надає на водні організми шкідливий вплив, що виражається в порушенні росту та формування організму в цілому. [21]

На європейських підприємствах аквакультури розроблені нові біотехнології розведення та вирощування осетрових, які спрямовані на максимальне наближення до природних умов проживання об'єктів, що вирощуються. Для інкубації ікри використовують на підприємствах безшумні системи, що аеруються, вирощування личинок і молоді проводять у проточній воді, де швидкості течії дуже близькі до умов річки. Годування проводять штучними кормами, що занурюються, з додаванням живих кормових організмів, що відповідає бентосному типу живлення осетрових. В Італії та Іспанії осетрових вирощують у монокультурі, у проточних лотках або у ставках. Крім того, осетрових також вирощують і на теплих відпрацьованих водах електростанцій, у замкнутих системах і плаваючих садках. [22-25]

Попри світові тенденції, у багатьох країнах Центральної Європи, зокрема в Україні, спостерігається тривала стагнація у рибогосподарській сфері, що зумовлена низкою як об'єктивних, так і суб'єктивних чинників. Водночас досвід успішних країн свідчить, що кожна держава має власні водні та кліматичні ресурси, а також певний потенціал, який дозволяє знайти свою унікальну спеціалізацію в багатогранній галузі аквакультури. Це дає змогу ефективно конкурувати навіть у глобалізованих умовах виробництва. [22-25]

Розглянемо кілька прикладів. Відомо, що Норвегія, Велика Британія (зокрема Шотландія), Канада та Чилі досягли значних успіхів у холодноводному рибництві, зокрема у вирощуванні лососевих риб. Китай, Таїланд, В'єтнам і Малайзія спеціалізуються на розведенні корокових риб, креветок та пангасіуса. У той же час країни Середземномор'я зосереджені на вирощуванні мідій, дорадо та морського окуня (лаврака). Ізраїль і Єгипет утримують лідерство у вирощуванні тилапії. Спільною рисою для всіх цих країн є те, що їхня аквакультурна продукція має високі смакові якості, високу ринкову вартість і часто виступає конкурентом традиційної європейської продукції, вирощуваної у класичних ставкових господарствах. [22-25]

Звернімося до досвіду найближчих сусідів. У Польщі за останні десятиліття спостерігається значне зростання виробництва райдужної форелі, що стало можливим завдяки сприятливим кліматичним умовам і значним водним ресурсам на півночі країни. Угорщина успішно розвинула вирощування африканського кларієвого сома, використовуючи багаті запаси підземних термальних вод. Чехія зосереджується на розведенні ліна, великих коропів, хижих видів риб, а також активно розвиває декоративну аквакультуру.

Розглянемо водно-кліматичний потенціал і переваги нашої країни, реалізація яких може суттєво збільшити обсяги виробництва високоякісної товарної рибної продукції. Це, у свою чергу, дозволить успішно конкурувати як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках.. [22-25]

Виявляється, Україна також має свою унікальну перевагу, яка давно відома, але через низку причин її ефективне використання залишається обмеженим. На відміну від більшості країн Центральної та Східної Європи, за винятком, можливо, Росії, Україна володіє значним фондом водних ресурсів у вигляді великих штучних водойм комплексного призначення. Серед них особливе місце займають дніпровські водосховища, загальною площею близько 700 тисяч гектарів, а також низка великих природних мілководних водойм, які умовно називають Причорноморськими лиманами. Загалом це близько 1 мільйона гектарів, потенціал яких використовується лише на 10–15 %. [22-25]

Годівля основних об'єктів індустріального рибництва базується на їх біологічних потребах, продуктивності та специфіці утримання в умовах інтенсивних систем вирощування. Годівля є одним із ключових факторів, що впливають на продуктивність, здоров'я риби та економічну ефективність аквакультурних господарств. Основними об'єктами індустріального рибництва є тилapia, кларієвий сом, короп, атлантичний лосось, сібас та дорадо. Особливості годівлі залежать від біологічних потреб кожного виду, систем утримання та умов навколишнього середовища. Ефективна годівля забезпечує швидкий ріст риб, покращує якість продукції та знижує витрати на виробництво. Інтеграція інноваційних підходів у раціон і режим годівлі дозволяє зробити індустріальне рибництво екологічно стійким і економічно вигідним. [26]

## 2 МЕТОДИ ВИРОЩУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ АКВАКУЛЬТУРИ

### 2.1 Методи вирощування у аквакультурі: від традиційних до сучасних технологій

Аквакультура є провідною галуззю у виробництві водних біоресурсів, яка забезпечує зростаючий попит на рибну продукцію та сприяє збереженню природних ресурсів. Розвиток аквакультури охоплює різноманітні методи вирощування, що трансформувалися від традиційних до сучасних високотехнологічних підходів. Сучасні методи забезпечують високу продуктивність, але потребують значних інвестицій та технічного забезпечення. Екологічна сталість, розробка альтернативних кормів і вдосконалення систем моніторингу залишаються ключовими напрямками для розвитку аквакультури. Вирощування риб та інших об'єктів аквакультури розвивалося від традиційних підходів до сучасних методів, орієнтованих на ефективність і екологічну стійкість. Кожен із підходів має свої особливості, переваги та недоліки. [27]

Аквакультура як галузь вирощування водних організмів має глибоке коріння і налічує тисячоліття розвитку. Традиційні методи вирощування риби та інших водних організмів виникли з необхідності забезпечення продовольчих потреб людства. Ці методи досі зберігають свою актуальність у багатьох регіонах світу завдяки простоті, економічності та мінімальному впливу на довкілля. [27]

До традиційних підходів відносять ставову аквакультуру та полікультуру. Ставова аквакультура найстаріший з методів вирощування риби, що використовує природні або штучні водойми, як-от ставки чи озера. Він широко використовується в Азії, особливо в Китаї та Індії. У традиційних ставкових системах риб годують природними кормами (планктоном і рослинністю), а також можуть використовувати добрива для стимулювання зростання водних

організмів. До переваг можна віднести низькі витрати на техніку та легкість у впровадженні, до недоліків низьку продуктивність, залежність від погодних умов і складність у підтриманні чистоти води. Полікультура це метод одночасного вирощування кількох видів риб в одній водоймі. Полікультура сприяє використанню всіх рівнів екосистеми і підвищує загальну ефективність, часто поєднують види, які харчуються на різних рівнях, наприклад, травоїдну і хижу рибу. До переваг можна віднести зменшений ризик хвороб, що оптимізує використання ресурсів, до недоліків складнощі в управлінні умовами та контролі за популяцією. [27-29]

Традиційні методи вирощування є важливими для екологічного балансу водойм. Вони мінімізують використання хімічних добавок і штучних кормів, забезпечуючи стійкість екосистем. Однак через збільшення попиту на рибну продукцію ці методи нерідко витісняються інтенсивними технологіями, які негативно впливають на довкілля. Традиційні методи вирощування в аквакультурі є важливою частиною історичного розвитку цієї галузі. Вони довели свою ефективність у забезпеченні продовольчих потреб за мінімального впливу на природу. Попри зростаючу конкуренцію з боку сучасних інтенсивних систем, традиційні методи залишаються актуальними завдяки своїй екологічності, простоті та гармонії з природними процесами. У майбутньому поєднання традиційних і сучасних підходів може стати ключем до сталого розвитку аквакультури.

Сучасні підходи у вирощуванні риб ґрунтуються на технологіях, які дозволяють підвищити ефективність виробництва та зменшити екологічне навантаження. Основні сучасні методи включають:

- Системи рециркуляції води;
- Аквапоніка;
- Біофлокові системи;

- Відкриті морські ферми та глибоководні садки;
- Використання штучного інтелекту та автоматизація.

Системи рециркуляції води дозволяють вирощувати рибу в закритих або напівзакритих установках, де вода постійно очищається і повертається в систему. RAS використовують для інтенсивного вирощування риб, забезпечуючи контроль за якістю води та знижуючи ризики забруднення навколишнього середовища. [27-29]

Аквапоніка об'єднує вирощування риби з вирощуванням рослин, що дозволяє використовувати відходи риб як добриво для рослин. Цей метод створює замкнений цикл, у якому рослини фільтрують воду для риби, забезпечуючи стабільні умови обом компонентам.

У біофлокових системах бактерії переробляють органічні відходи риб і перетворюють їх на кормові мікроорганізми. Це знижує потребу у свіжій воді та в зовнішніх кормах, що робить цей метод економічно вигідним. [27-29]

Метод відкритих морських ферм та глибоководних садків полягає у вирощуванні риби у відкритих морських садках, що дозволяє використовувати природні ресурси для створення оптимальних умов. Завдяки застосуванню штучного інтелекту, сенсорів та моніторингових систем забезпечується контроль за здоров'ям риби і якістю води. [27-29]

Технології штучного інтелекту та автоматизовані системи годування, моніторингу якості води, здоров'я риб і управління аквафермами значно підвищують ефективність процесів. AI-системи дозволяють вчасно виявляти аномалії у стані води та здоров'ї риби, що запобігає втратам і знижує витрати на догляд. [30]

Інноваційні системи спрямовані на зменшення негативного впливу на довкілля. Наприклад, використання RAS дозволяє мінімізувати скиди води, а ІМТА сприяє очищенню водою через збагачення екосистем фільтраторами. Сучасні підходи у вирощуванні риб є результатом інтеграції новітніх технологій

та екологічних принципів. Інновації, такі як RAS, аквапоніка, генетична селекція та цифрові системи моніторингу, забезпечують ефективність, стійкість і екологічність аквакультури. Подальший розвиток галузі повинен поєднувати інтенсивне виробництво з мінімізацією екологічного впливу, сприяючи забезпеченню продовольчої безпеки світу.

Еволюція методів вирощування в аквакультурі свідчить про перехід від залежності від природних умов до використання високотехнологічних систем. Традиційні методи залишаються важливими для малих господарств, тоді як сучасні технології відкривають можливості для масштабного виробництва та екологічної стійкості. Подальший розвиток галузі залежить від впровадження інновацій, що забезпечать високу продуктивність та збереження природних ресурсів. Сучасні методи не лише підвищують продуктивність, а й сприяють зменшенню екологічного навантаження на природні водні ресурси, що робить аквакультуру більш стійкою. [30]

Методи вирощування в аквакультурі пройшли значний еволюційний шлях, трансформуючись від простих традиційних підходів до високотехнологічних рішень, які враховують сучасні виклики та потреби. Традиційні методи, такі як ставкове рибництво, вирізняються низькими витратами та природною інтеграцією у навколишнє середовище. Вони забезпечували сталий розвиток аквакультури протягом багатьох століть, але обмежені своєю продуктивністю, залежністю від кліматичних умов і складністю контролю за якістю води.

Сучасні підходи, такі як рециркуляційні аквакультурні системи (RAS), аквапоніка, океанічна аквакультура та інтегрована багатовидова аквакультура (IMTA), значно розширили можливості вирощування риб. Вони дозволяють створювати контрольовані умови, оптимізувати використання ресурсів та зменшувати екологічний вплив на природні екосистеми. Інноваційні системи моніторингу, автоматизація процесів і застосування біотехнологій зробили виробництво більш ефективним, сприяючи швидкому зростанню галузі.

Однак, із впровадженням сучасних технологій виникають нові виклики, такі як висока вартість обладнання, складність у підтримці технологічних систем і необхідність підготовки кваліфікованих кадрів. Баланс між екологічною стійкістю, економічною доцільністю та продуктивністю залишається головним завданням аквакультури.

Таким чином, розвиток методів вирощування в аквакультурі від традиційних до сучасних технологій відображає адаптацію до глобальних змін і зростання попиту на рибну продукцію. У майбутньому пріоритетом буде впровадження інновацій, що сприяють сталому розвитку, захисту екосистем та забезпеченню продовольчої безпеки.

## **2.2 Критерії вибору видів для промислової аквакультури**

Вибір видів для аквакультури є ключовим кроком, який значною мірою впливає на рентабельність, ефективність та екологічну стійкість аквакультурного підприємства. Сучасний підхід до вибору видів для індустріального вирощування враховує не лише економічні, але й екологічні та стійкі аспекти, що дозволяє оптимізувати виробництво з мінімальним впливом на навколишнє середовище. Виробники вибирають види, які забезпечують стабільний дохід і мають попит на ринку.

Температура, солоність води, наявність природних ресурсів є важливими факторами для вибору видів, які зможуть виживати і рости в даних умовах. Види риб з високою стійкістю до хвороб і паразитів знижують витрати на лікування і підвищують загальну рентабельність виробництва. Попит на ринку є одним із вирішальних факторів, тому види з високим попитом, як-от лосось і креветки, найчастіше вибирають для вирощування. До основних видів риб що вирощують

в індустріальній аквакультури можна віднести : тилапію, кларієвого сома, короп, атлантичний лосось, сібас, дорадо, ракоподібні та моллюски. [31-36]

**Тилапія.** Це одна з найпопулярніших риб для аквакультури завдяки швидкому росту, всеїдності та стійкості до захворювань. Тилапія також має високу попит через відносно низьку вартість вирощування та прийнятну ринкову ціну. До переваг можна віднести : швидкий ріст, всеїдність, висока витривалість, низька схильність до захворювань, широке використання, у сучасних системах RAS виробництво тилапії може досягати 100–200 тонн/га на рік, FCR (коефіцієнт конверсії корму): 1,2–1,5 при використанні збалансованих кормів. (табл.2.3) [31-36]

Таблиця 2.3 - Оптимальні параметри середовища для вирощування тилапії

| Параметри         | Показники                                                                                                         |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Температура води  | Оптимальна: 25–30°C<br>При температурі нижче 15°C тилапія припиняє ріст і стає вразливою до захворювань.          |
| pH                | 6,5–8,5.                                                                                                          |
| Солоність         | Прісноводні умови (<5‰), хоча деякі види (наприклад, <i>Oreochromis mossambicus</i> ) витримують солоність до 20‰ |
| Розчинений кисень | Мінімальний рівень: 3–5 мг/л.<br>Тилапія може переносити періоди гіпоксії, але це негативно впливає на її ріст.   |

**Сом (кларієвий сом).** Вирощування сома поширене через його невибагливість до умов середовища та високу ринкову цінність, є одним із

провідних об'єктів індустріальної аквакультури завдяки своїм високим темпам росту, витривалості до умов середовища та простоті утримання. Сом добре переносить густі посадки та може вирощуватися у біофлокових системах. Цей вид широко вирощується в системах інтенсивної аквакультури через його здатність ефективно конвертувати корм і адаптуватися до високої щільності посадки. До переваг можна віднести: швидкий ріст, всеїдність, стійкість до несприятливих умов, висока щільність посадки, економічна ефективність, термін вирощування 6–9 місяців до ринкової ваги (1–1,5 кг), вихід продукції ставкове господарство: до 10–15 тонн/га на рік, RAS: до 50–100 тонн/м<sup>3</sup> на рік залежно від системи. (табл.2.4) [31-36]

Таблиця 2.4 - Оптимальні параметри середовища для вирощування кларієвого сому

| Параметри         | Показники                                                                                                                   |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Температура       | 25–30°C (оптимум), мінімум – 20°C                                                                                           |
| pH                | 6,5–8,5                                                                                                                     |
| Розчинений кисень | Мінімальний рівень: 2–3 мг/л (завдяки здатності дихати атмосферним киснем)                                                  |
| Амміак            | Концентрація не повинна перевищувати 0,02 мг/л.                                                                             |
| Щільність посадки | В системах RAS: до 150–300 кг/м <sup>3</sup> при належній аерації та фільтрації.<br>У ставках: 5–10 особин/м <sup>2</sup> . |

**Короп.** Традиційний вид у багатьох країнах, короп є відносно стійким і підходить для вирощування в ставкових системах. Він має попит на місцевих ринках, особливо в Азії та Східній Європі, є найпоширенішим в індустріальній аквакультурі завдяки високій витривалості, простоті вирощування та доступності на ринку, також ей вид широко використовується як у ставкових господарствах, так і в системах інтенсивного вирощування, включаючи рециркуляційні аквакультурні системи (RAS). До переваг можна віднести: всеїдність, висока витривалість, рентабельність, широка адаптація, популярність на ринку, термін вирощування молодняка до ринкової ваги (1–1,5 кг) – 12–18 місяців у ставках, 6–9 місяців у системах RAS.(табл.2.5) [31-36]

Таблиця 2.5 - Оптимальні параметри середовища для вирощування коропа

| Параметри         | Показники                                                                                                 |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Температура       | 20–28°C (оптимум), мінімум – 15°C, при температурі нижче 10°C короп уповільнює метаболізм                 |
| pH                | 6,5–8,5                                                                                                   |
| Розчинений кисень | Оптимум: 5–8 мг/л.Мінімум: 3–4 мг/л.                                                                      |
| Щільність посадки | У ставках: 1–2 кг/м <sup>2</sup><br>У RAS: до 50–80 кг/м <sup>3</sup> при належній аерації та фільтрації. |

**Атлантичний лосось.** Один з найцінніших видів у морській аквакультурі, особливо популярний у Норвегії, Чилі та Канаді. Лосось вирощується в морських садках та платформах з використанням сучасних технологій моніторингу, популярний завдяки його високій комерційній цінності, швидкому росту і попиту

на світовому ринку, вирощується переважно в холодноводних умовах, таких як морські садки, та у високотехнологічних системах аквакультури. До переваг можна віднести: високу рентабельність, швидкий ріст, висока якість м'яса, підходить для масштабного виробництва з використанням технологій RAS або морських садків (табл.2.6). [31-36]

Таблиця 2.6 - Оптимальні параметри середовища для вирощування Атлантичного лосося

| Параметри         | Показники                                                                                                             |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Температура       | 8–14°C. Лосось витримує до 20°C, але при цьому зростає стрес і знижується швидкість росту.                            |
| Солоність         | 30–35‰ у морській фазі                                                                                                |
| pH                | 7,0–8,0                                                                                                               |
| Розчинений кисень | >7 мг/л                                                                                                               |
| Щільність посадки | У морських садках: 10–20 кг/м <sup>3</sup><br>У RAS: до 60 кг/м <sup>3</sup> при ефективній аерації та очищенні води. |

**Сібас та дорадо.** Ці види мають високу ринкову вартість і поширені у Середземноморському регіоні. Сібас і дорадо є популярними видами риб, що вирощуються в індустріальному рибництві завдяки своїм високим смаковим якостям та ринковому попиту. Вони добре підходять для вирощування у морських садках, але вимагають високих інвестицій у якість води та системи моніторингу. До переваг можна віднести: високу рентабельність, швидкий ріст, пристосованість до умов середовища, висока якість м'яса (табл.2.7). [31-36]

Таблиця 2.7 - Оптимальні параметри середовища для вирощування сібас та дорадо

| Параметри         | Сібас                                                        | Дорадо                                           |
|-------------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Температура       | 18–24°C. Нижче 10°C або вище 28°C ріст значно уповільнюється | 20–26°C. Нижче 14°C активність і ріст знижуються |
| Солоність         | 30–35‰, але може переносити солоність до 15‰                 | 30–40‰, може переносити до 20‰                   |
| pH                | 7,5–8,5                                                      | 7,5–8,5.                                         |
| Розчинений кисень | >6 мг/л.                                                     | >5 мг/л.                                         |

**Тунець.** Вирощування тунця є перспективним, але складним через високу потребу у просторі та специфічних умовах. Він користується попитом на японському ринку, зокрема в суші-індустрії. Найчастіше в аквакультурі використовують такі види: блакитний тунець (*Thunnus thynnus*), тихоокеанський блакитний тунець (*Thunnus orientalis*) та жовтоперий тунець (*Thunnus albacares*). До переваг можна віднести: висока рентабельність (найдорожчий блакитний тунець), великі розміри. (табл.2.8) [31-36]

Таблиця 2.8 - Оптимальні параметри середовища для вирощування тунця

| Параметри         | Показники                                                                  |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Температура       | 20–26°C                                                                    |
| Солоність         | 35–38‰                                                                     |
| pH                | 7,5–8,5                                                                    |
| Розчинений кисень | >5 мг/л, оскільки тунець є активною рибою, що вимагає високого рівня кисню |

| Параметри            | Показники                                                     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------|
| Простір для плавання | Тунець потребує великих обсягів води для природної поведінки. |

**Креветки.** Є важливим об'єктом індустріальної аквакультури, особливо в країнах з тропічним та субтропічним кліматом. Їх популярність обумовлена високим попитом на міжнародних ринках, швидким темпом росту і можливістю вирощування в різноманітних умовах. Вирощування креветок має значний попит через високу експортну цінність, швидкий цикл вирощування, адаптивність до різних умов і низькі витрати на утримання. Індустріальне вирощування креветок є перспективним напрямком аквакультури завдяки високій економічній рентабельності та зростаючому попиту на продукцію. Крім того, креветки мають високу харчову цінність, що робить їх одним із ключових продуктів у світовій гастрономії. Швидкий цикл вирощування дозволяє оперативно реагувати на зростання попиту, а їх адаптивність забезпечує можливість вирощування як у морській, так і в прісній воді. Завдяки постійному вдосконаленню технологій, зокрема автоматизації процесів і впровадженню екологічно безпечних систем, виробництво креветок стає дедалі більш сталим і вигідним. Цей сектор продовжує динамічно розвиватися, забезпечуючи робочі місця та підвищуючи рівень економічного добробуту в прибережних регіонах. Проте сталий розвиток потребує інтеграції інноваційних технологій, оптимізації виробничих процесів та мінімізації екологічного впливу. Поширені для вирощування в Індії, Індонезії та Латинській Америці, креветки мають високий експортний попит. Вирощуються переважно у біофлокових системах, що зменшує потребу у воді і кормах. Основними видами для промислового вирощування є біла тихоокеанська креветка і чорна тигрова креветка. До переваг можна віднести: високий попит, швидкий цикл вирощування, висока адаптивність, розвиток технологій (сучасні

методи, як-от рециркуляційні системи (RAS), дозволяють підвищувати ефективність і знижувати екологічний вплив) . (табл.2.9) [31-36]

Таблиця 2.9 - Оптимальні параметри середовища для вирощування креветок

| Параметри         | Біла тихоокеанська креветка (Litopenaeus vannamei) | Чорна тигрова креветка (Penaeus monodon) |
|-------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Температура       | 28–32°C.                                           | 26–30°C.                                 |
| Солоність         | 5–40‰ (оптимум 10–25‰)                             | 15–30‰.                                  |
| pH                | 7,5–8,5                                            | 7,5–8,5.                                 |
| Розчинений кисень | >4 мг/л.                                           | >5 мг/л.                                 |
| Щільність посадки | 50–100 постлярв/м <sup>2</sup> (інтенсивний метод) | 10–50 постлярв/м <sup>2</sup>            |

**Омари та краби.** Ці види мають високу ринкову ціну, але потребують великих інвестицій у забезпечення природних умов. Вирощування омарів і крабів в індустріальному рибництві набуває популярності завдяки високій ринковій вартості цих видів і зростаючому попиту на делікатесну продукцію. Вирощування крабів особливо поширене в прибережних районах, таких як В'єтнам та Філіппіни. Розвиток технологій, зокрема автоматизації та біотехнологій, дає змогу збільшити масштаби виробництва, підвищити рентабельність та зменшити екологічний вплив. Індустріальне вирощування цих видів є перспективним напрямом для аквакультурних підприємств. Перспективність вирощування омарів і крабів у промислових масштабах робить

їх привабливими для інвесторів, зокрема в регіонах із високим експортним потенціалом. Вирощування цих ракоподібних у промислових масштабах має значний економічний потенціал, але потребує технологічно розвинених підходів через складності їх біології та вимог до умов утримання (табл.2.10) [31-36]

Таблиця 2.10 - Оптимальні параметри середовища для вирощування омарів та крабів

| Параметри         | Омари                                                                                | Краби                                                          |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Температура       | 18-22°C                                                                              | 25–30°C для мангрового краба<br>5–15°C для королівського краба |
| Солоність         | 30–35‰                                                                               | 10–30‰ для мангрового краба<br>30–35‰ для королівського краба  |
| pH                | 7,8–8,2                                                                              | 7,5–8,5                                                        |
| Розчинений кисень | >5 мг/л                                                                              | >4 мг/л                                                        |
| Щільність посадки | Залежить від системи, але вимагає уникнення високої щільності для зменшення агресії. | -                                                              |

**Мідії, устриці та гребінці.** Ці молюски є стійкими до захворювань і потребують відносно низьких витрат на виробництво, оскільки живляться фільтрацією планктону з води. Їх вирощують переважно в прибережних районах Європи, Китаю та США. До переваг можна віднести: економічна рентабельність, екологічна стійкість, високий попит, різноманітність систем вирощування. Мідії,

устриці та гребінці залишаються важливими компонентами аквакультури завдяки низьким витратам на утримання, високій продуктивності та екологічній цінності. [31-36]

Аналіз існуючих методів вирощування об'єктів аквакультури свідчать про великий потенціал індустрії у задоволенні глобального попиту на морепродукти, але також підкреслюють важливість екологічно стійких практик та технологічних інновацій.

Існує багато методів вирощування, таких як традиційні ставкові системи, системи рециркуляції води (RAS), біофлокові системи, аквапоніка та морські садки. Кожен з методів має свої переваги та обмеження, які визначають його доцільність залежно від регіону, клімату та ресурсів. [31-36]

Традиційні методи, продовжують використовуватися в багатьох регіонах, але вони обмежені продуктивністю і мають більший екологічний вплив. Новітні системи, такі як RAS і біофлокові установки, підвищують ефективність і дозволяють контролювати умови вирощування, що особливо важливо у регіонах з обмеженими водними ресурсами.

Сучасні технології, включаючи автоматизацію, штучний інтелект та моніторинг якості води, значно підвищують продуктивність акваферм, забезпечуючи точний контроль за умовами середовища і здоров'ям риби. Це особливо важливо в інтенсивних системах вирощування, таких як RAS, де постійний моніторинг необхідний для забезпечення стабільних умов.

Біофлокові системи та аквапоніка стали популярними завдяки своєму екологічному підходу, оскільки вони дозволяють мінімізувати відходи та використовувати органічні відходи для вторинних потреб (наприклад, для добрив у вирощуванні рослин в аквапоніці).

Стійкість є ключовим фактором у сучасній аквакультурі. Методи, що знижують потребу у воді і мінімізують вплив на навколишнє середовище, як-от біофлок і аквапоніка, стають дедалі популярнішими.

Індустрія аквакультури стикається з викликами, пов'язаними з екологічним навантаженням, зокрема забрудненням водою і втратою біорізноманіття. Використання стійких технологій і ефективне управління є критично важливими для збереження екосистем. [31-36]

Зростаюча популярність аквакультури потребує міжнародних стандартів і сертифікацій (наприклад, ASC), які допомагають забезпечити екологічно чисте виробництво та сприяти відповідальному вибору споживачів. Це є ключовим фактором для підвищення довіри до продуктів аквакультури.

Індустріальна аквакультура має великий потенціал для сталого розвитку за умови, що вибір методів вирощування буде відповідати вимогам екологічної відповідальності та економічної ефективності. Використання нових технологій, таких як RAS і біофлокові системи, а також підвищена увага до стандартів якості дозволяють створювати екологічно безпечні та високопродуктивні акваферми, що можуть забезпечити зростаючий світовий попит на водні біоресурси. [37]

Критерії вибору видів для промислової аквакультури є ключовими для ефективного розвитку цієї галузі. Вони спрямовані на досягнення високої продуктивності, мінімізації витрат, екологічної стійкості та задоволення потреб ринку.

Основним фактором є економічна доцільність: обрані види повинні мати високу ринкову вартість і стабільний попит. Наприклад, лососеві, тилапія та сом є популярними завдяки їхній харчовій цінності та поширеності у споживанні. Окрім того, важливо враховувати темпи росту та біологічні особливості риб, адже швидкорослі види скорочують цикл виробництва, що підвищує рентабельність.

Не менш значущим критерієм є адаптивність до умов вирощування. Види, які добре переносять змінні або екстремальні умови середовища (температуру, рівень кисню, якість води), мають більші шанси на успішне вирощування.

Наприклад, види, адаптовані до інтенсивних систем, таких як рециркуляційні аквакультурні системи (RAS), стають усе більш популярними. [37]

Важливим є також сприйнятливість до захворювань. Вибір видів, які мають стійкість до поширених хвороб, дозволяє зменшити витрати на профілактику та лікування, зберігаючи високу якість продукції.

Екологічний фактор теж відіграє значну роль. Стійкі види, які не спричиняють значного впливу на природні екосистеми або є частиною інтегрованих систем (наприклад, у багатовидовій аквакультурі), відповідають сучасним екологічним стандартам.

Отже, вибір видів для промислової аквакультури залежить від багатьох чинників: економічних, біологічних, екологічних і технологічних. Лише всебічний аналіз цих критеріїв дозволяє забезпечити стале виробництво, мінімізувати ризики та задовольнити потреби як ринку, так і довкілля. У майбутньому поєднання інновацій та глибокого розуміння біологічних особливостей видів сприятиме подальшому розвитку аквакультури як стратегічно важливої галузі. [37]

Крім того, важливо враховувати регіональні особливості та доступність ресурсів при виборі видів для промислової аквакультури. Деякі види риб вимагають специфічних умов вирощування, таких як солоність води або певний температурний діапазон. Це визначає, які види будуть економічно доцільними для вирощування у певному регіоні. Інтеграція видів у місцеві екосистеми з мінімальним впливом на природне середовище є додатковим аспектом, що сприяє сталому розвитку аквакультури.

Ще одним важливим чинником є технологічна підтримка вирощування обраних видів. Використання сучасних систем, таких як біофлоки або аквапоніка, дозволяє підвищити продуктивність навіть у несприятливих умовах. Види, які добре реагують на такі технології, мають більшу конкурентоспроможність у промисловій аквакультурі. Таким чином, правильний вибір видів є стратегічним

рішенням, яке враховує не лише їхню економічну вигоду, а й здатність відповідати сучасним викликам, пов'язаним із кліматичними змінами, зростанням попиту на харчові продукти та необхідністю екологічно раціонального використання природних ресурсів. [37]

### 3 ОСОБЛИВОСТІ ОПТИМАЛЬНИХ УМОВ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ІНДУСТРІАЛЬНОЇ АКВАКУЛЬТУРИ

#### 3.1 Параметри водного середовища (температура, солоність, рН) і їх вплив на розвиток об'єктів аквакультури

Абіотичні фактори середовища в житті риб відіграють дуже велику роль. Температура води, зокрема, є визначальною в інтенсивності обміну речовин і є природним подразником, що визначає початок нерестових міграцій риб.

У індустріальному рибництві параметри водного середовища, зокрема температура, солоність і рН, є критично важливими, оскільки їхній контроль дозволяє створити оптимальні умови для вирощування риби та забезпечити високу продуктивність. (Рис. 3.2-3.5) [38-42]

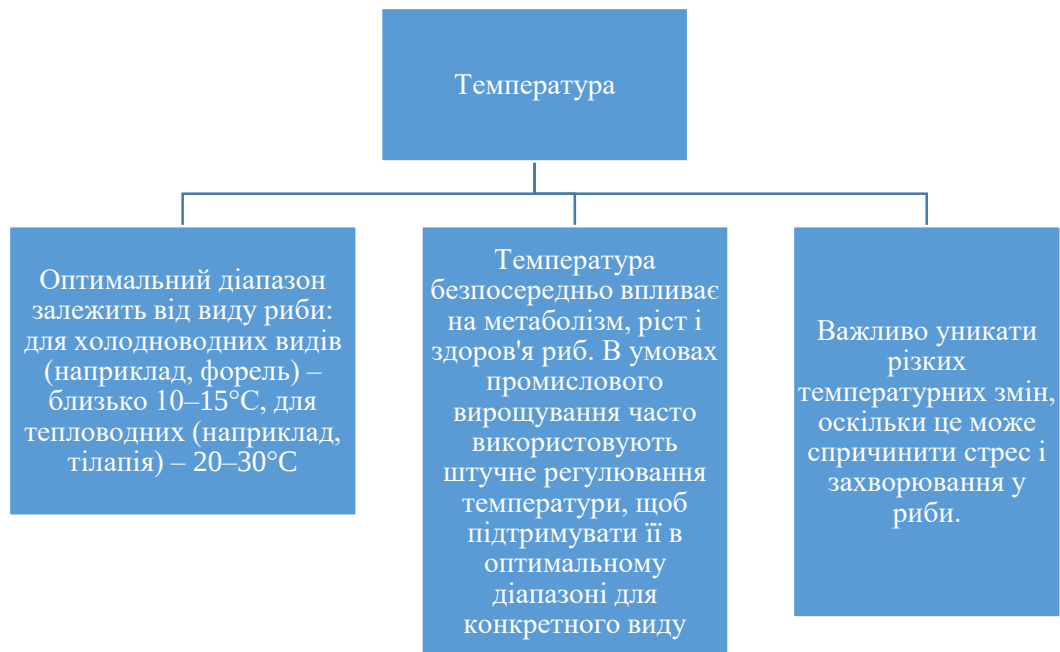


Рис.3.2 – Вплив температури на риб в умовах промислового вирощування

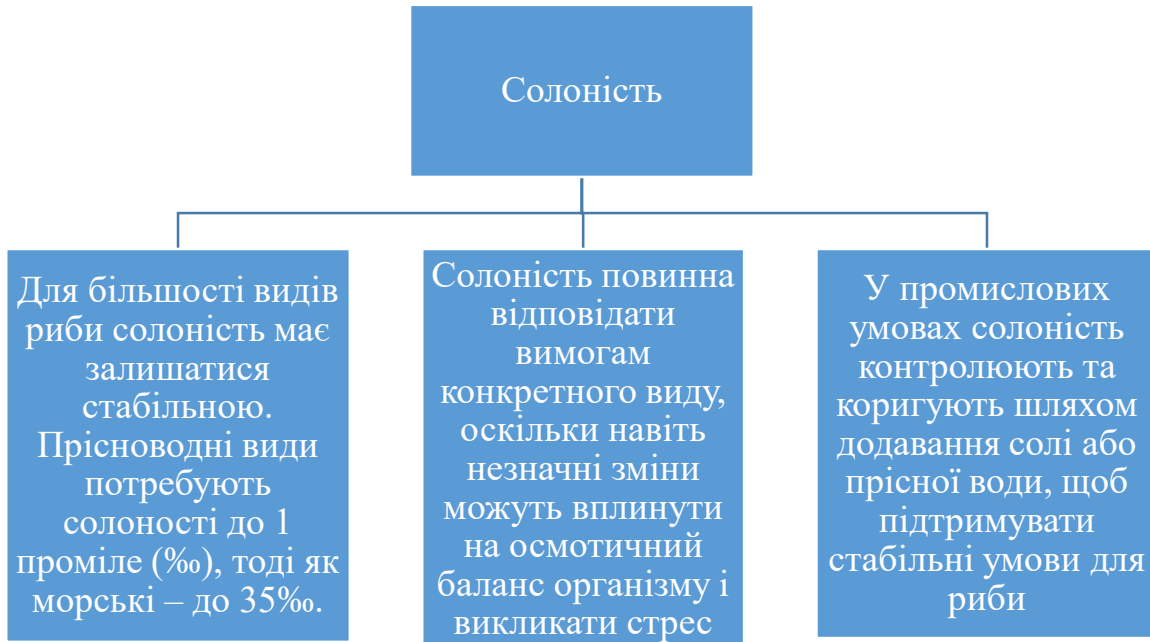


Рис.3.3 – Основні вимоги до солоності води в індустріальних господарствах

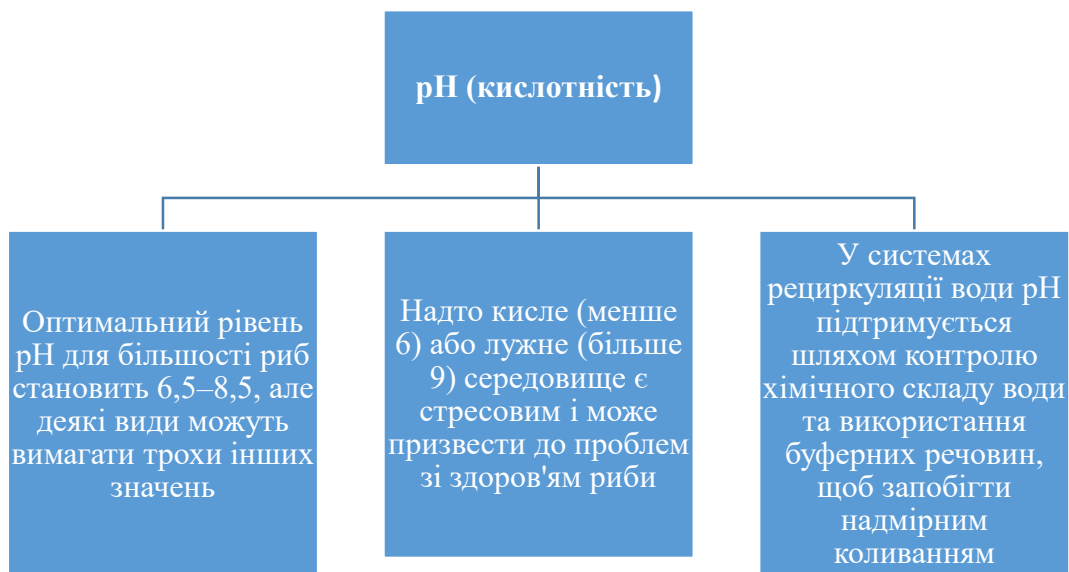


Рис.3.4 – Основні вимоги до кислотності води в індустріальних господарствах

Для індустріального рибництва важливо мати автоматичні системи моніторингу та регулювання цих параметрів, щоб запобігати стресу у риби, забезпечувати її швидкий ріст і високу якість продукції. [38-42]

Фізичні та хімічні властивості води також відіграють важливу роль для риб. Зокрема, температура води значно впливає на життєві процеси гідробіонтів. Завдяки високій теплоємності вода демонструє більшу стабільність температури порівняно з повітрям. Це означає, що навіть значні теплові коливання влітку чи взимку не призводять до різких змін її температури. Така стабільність пояснюється слабким змішуванням шарів води різної щільності, які мають різну температуру.

Низька теплопровідність води, яка обмежує розповсюдження температурних змін у стоячих водоймах, спричиняє виникнення температурного розшарування або стратифікації. В результаті температурних змін у воді взаємодіють газовий режим і інші хімічні показники, що призводить до зонального розподілу гідробіонтів. Температурний режим водойм різних типів залежить від їх географічного положення, глибини, особливостей циркуляції водних мас та інших факторів.

Температура води особливо сильно впливає на ранні стадії розвитку живих організмів. Ембріональний розвиток риб може відбуватися нормально лише в певному діапазоні температур. Якщо температура води під час інкубації ікри наближається до порогових значень для конкретного виду, це може спричинити серйозні порушення в процесі ембріогенезу, виникнення аномалій у личинок і, в результаті, їх загибель. [40-42]

Хімічний склад поверхневих вод визначається рівновагою між фізичними, хімічними та біологічними факторами навколишнього середовища. Якість цих вод значно варіюється, адже кожна водойма чи водотік має свій унікальний гідрохімічний склад. Наприклад, опади, що випадають на ґрунти, покриті гранітами, формують кислий стік з м'якою водою і низьким вмістом кальцію. Стік

з торф'яних боліт також буде кислим, особливо після сильних дощів, що йдуть після тривалого сухого періоду. Вода з низьким рН ( $<5,0$ ) здатна розчиняти природні метали з ґрунту та гірських порід, зокрема алюміній, а в деяких районах — мідь, цинк і свинець. М'які води можуть бути як прозорими, так і коричневими, в залежності від вмісту розчинених гумінових речовин. Дощ, який потрапляє на ґрунти, що вкривають крейду та вапняк, формує лужний стік, і його жорсткість залежить від кількості розчиненого кальцію та бікарбонату. Якість поверхневих вод також може залежати від типу рослинності на водозборі, оскільки продукти розпаду рослин, як у випадку з торф'яними болотами, потрапляють у води. Вода, що стікає з хвойних лісів, зазвичай має кислий характер. Це приклади природних факторів, які визначають відмінності у якості води. Важливими характеристиками водного середовища для здоров'я екосистем є вміст розчиненого кисню, прозорість, течія, температура, солоність тощо. [40-42]

Вміст розчиненого кисню у воді є ключовим фактором, що обмежує життєдіяльність у водному середовищі та визначає види організмів, які можуть існувати в конкретній водоймі. Риbam для нормального існування необхідний розчинений кисень, хоча рівень їх здатності витримувати низький його вміст залежить від виду. У випадках значного дефіциту кисню деякі риби можуть отримувати його з повітря, дихаючи атмосферним киснем.

Водні рослини формують спеціальну повітропровідну тканину — аеренхіму, що дозволяє їм адаптуватися до умов водного середовища, причому їх листя може змінювати свою форму та розмір. З іншого боку, кисень є шкідливим для багатьох анаеробних бактерій. Прозорість води важлива для процесу фотосинтезу підводних рослин. У природі не існує повністю нерухомої води, навіть у стоячих водоймах. Рух води, або течія, має значний вплив на життя гідробіонтів, оскільки вона визначає їх поширення та вміст розчинених речовин, зокрема газів, таких як кисень. Течія сприяє притоку необхідних для організмів речовин, наприклад кисню, та відведенню відходів метаболізму. Швидка течія

покращує обмив зябер риб, що дозволяє їм отримувати більше кисню. Наприклад, у умовах повільної течії риби (як коропа, окуні, щуки та інші) активно здійснюють дихальні рухи, тоді як у більш швидкій течії ці рухи сповільнюються, а на дуже швидкій течії риби стоять у водяному потоці з відкритим ротом і зябровими кришками, які перестають рухатися. Для багатьох водних тварин, особливо стенотермних, навіть невелике підвищення температури води є небезпечним. [38-42]

Вміст поживних речовин у воді має важливе значення для регулювання чисельності водоростей. Концентрація азоту та фосфору, зокрема нітратів і фосфатів, може значною мірою визначити, які саме види водоростей переважатимуть. Водорості є основним джерелом харчування для гідробіонтів-консументів, але їх надмірний розвиток може призвести до зменшення чисельності риби через процеси розкладу мертвих водоростей. Перенасичення води водоростями в прибережних зонах може спричинити утворення гіпоксичних зон, таких як мертва зона в Мексиканській затоці. Солоність води також виступає лімітуючим фактором для водних організмів. Морські види адаптовані до високої солоності, в той час як більшість прісноводних організмів не здатні її витримувати. Порушення балансу солей у воді та організмі може призвести до їх загибелі через фізіологічний стрес, що викликає критичні зміни осмотичного тиску. Однак існують види, такі як лососеві, які мають механізм осмотичної регуляції і здатні адаптуватися до змін солоності, мігруючи між річками та морем. [41-42]

Рівень солоності в гирлах або дельтах річок, що впадають в озера, моря чи океани, є ключовим чинником, який визначає тип водно-болотних угідь (прісноводні, солоні або солонуваті) і характерні для них види тварин. Будівництво гребель вгору за течією може зменшити інтенсивність весняних паводків та знизити накопичення наносів, що, в свою чергу, може призвести до проникнення солоної води в прибережні водно-болотні угіддя. Вода, яка

використовується для зрошення та стікає в водні об'єкти, може забирати солі з ґрунту, що є шкідливими для прісноводних видів. [41-42]

Параметри водного середовища, такі як температура, солоність і рН, є ключовими факторами, що визначають успішність розвитку об'єктів аквакультури. Вони не тільки впливають на фізіологічний стан водних організмів, але й визначають продуктивність, здоров'я і якість вирощуваних видів. Врахування та контроль цих параметрів є основою для створення оптимальних умов у системах аквакультури, що сприяє зростанню економічної ефективності та стійкості галузі. [42]

Температура води є критичним фактором, оскільки вона впливає на швидкість метаболізму, ріст, розмноження та імунітет риб та інших водних організмів. Більшість видів мають вузький діапазон температур, у якому вони можуть ефективно розвиватися. Наприклад, холодноводні види, такі як форель, вимагають температури нижче 18 °C, тоді як теплолюбні види, такі як тилапія, оптимально розвиваються при температурі 25–30 °C. Відхилення від оптимального діапазону може спричинити зниження темпів росту, порушення відтворювальної функції та зростання сприйнятливості до хвороб. Це особливо важливо в умовах глобальних змін клімату, які можуть змінювати температурний режим водойм.

Солоність води є ще одним важливим параметром, який впливає на вибір видів для аквакультури та їхню адаптацію до умов середовища. Види, що вирощуються в аквакультурі, можна поділити на прісноводні, морські та евригалінні (ті, що здатні переносити широкий діапазон солоності). Невідповідність рівня солоності може викликати осмотичний стрес у організмів, що впливає на їхній метаболізм, ріст та виживання. Наприклад, такі види, як лосось, що мігрують між морською та прісною водою, мають високу адаптивну здатність, але вимагають точного контролю солоності на різних етапах їхнього життєвого циклу. [42]

Рівень рН води також є критично важливим для нормального функціонування організмів аквакультури. Оптимальний рівень для більшості видів знаходиться в межах 6,5–8,5. Відхилення від цього діапазону може призводити до фізіологічного стресу, зниження імунітету та навіть летальних випадків. Кисле середовище (низький рН) може викликати пошкодження зябер і підвищити токсичність деяких хімічних елементів, таких як аміак або важкі метали, тоді як лужне середовище (високий рН) може знизити доступність важливих для життя речовин, наприклад, кальцію.

Таким чином, моніторинг і управління параметрами водного середовища є невід'ємною частиною сучасної аквакультури. Використання технологічних рішень, таких як системи рециркуляційного водопостачання (RAS), автоматизовані датчики та аналізатори води, дозволяє забезпечити стабільність цих параметрів, мінімізуючи стресові фактори для організмів. Крім того, інтеграція екологічно орієнтованих методів, таких як аквапоніка чи біофлокові системи, сприяє покращенню водного середовища та підвищенню продуктивності. [42]

З огляду на взаємозалежність параметрів водного середовища, їхній комплексний вплив на фізіологію водних організмів та економічну ефективність аквакультури, важливим завданням є підвищення рівня управління цими чинниками. Це включає наукові дослідження щодо оптимізації умов вирощування різних видів, а також адаптацію технологій до нових викликів, зокрема змін клімату та зростання антропогенного навантаження на водні ресурси. Успішне вирішення цих завдань забезпечить сталий розвиток аквакультури, збереження водних ресурсів і стабільне забезпечення населення високоякісними продуктами.

Контроль параметрів водного середовища має бути інтегрованим підходом, що включає постійний моніторинг, адаптацію технологічних процесів та екологічно свідоме управління. В умовах зростання масштабів промислової

аквакультури особливо важливо враховувати взаємодію між різними факторами, такими як температура, солоність і рН, які можуть впливати один на одного. Залучення інноваційних рішень, наприклад, біотехнологій для поліпшення якості води чи селекції більш стійких видів, допоможе мінімізувати негативний вплив на організми аквакультури та довкілля. Відповідальний підхід до управління цими параметрами є не лише запорукою високої продуктивності, а й внеском у збереження екологічного балансу водойм. [42]

### **3.2 Режим годівлі, оптимізація складу кормів**

Одним із найбільш складних і важливих аспектів організації ефективного рибництва є визначення потреб риб у енергії, поживних та біологічно активних речовинах, а також розробка науково обґрунтованих норм годівлі з урахуванням особливостей виду, віку, етапу життєвого циклу, температури води та інших біотичних і абіотичних факторів. Коли риба не отримує природних кормів, її обмін речовин знаходиться під повним контролем людини, що робить залежність від якості, кількості та збалансованості кормів критично важливою. Це створює можливості для прискорення росту риби з мінімальними витратами кормів і мінімальним забрудненням води, а також для поліпшення збереженості молоді, підвищення якості плідників та їх потомства, що, в свою чергу, підвищує ефективність виробництва. [43-45]

Високий рівень потреби риб у білках і жирах склався у філогенезі та зумовлений значною кількістю цих поживних речовин у природних кормах. Вміст білка у сухій речовині тіла риб знаходиться у межах 56–70 %, тоді як у штучних кормах рослинного походження вміст протеїну становить 5–14 % (у бобових – до 35 %), а на вуглеводи припадає до 80 % сухої речовини.

Однією з перших оцінок поживності кормів є оцінка за хімічним складом. Для цього необхідно, застосовуючи ряд методик, провести зоотехнічний (хімічний) аналіз корму (рис.3.5). [43-45]

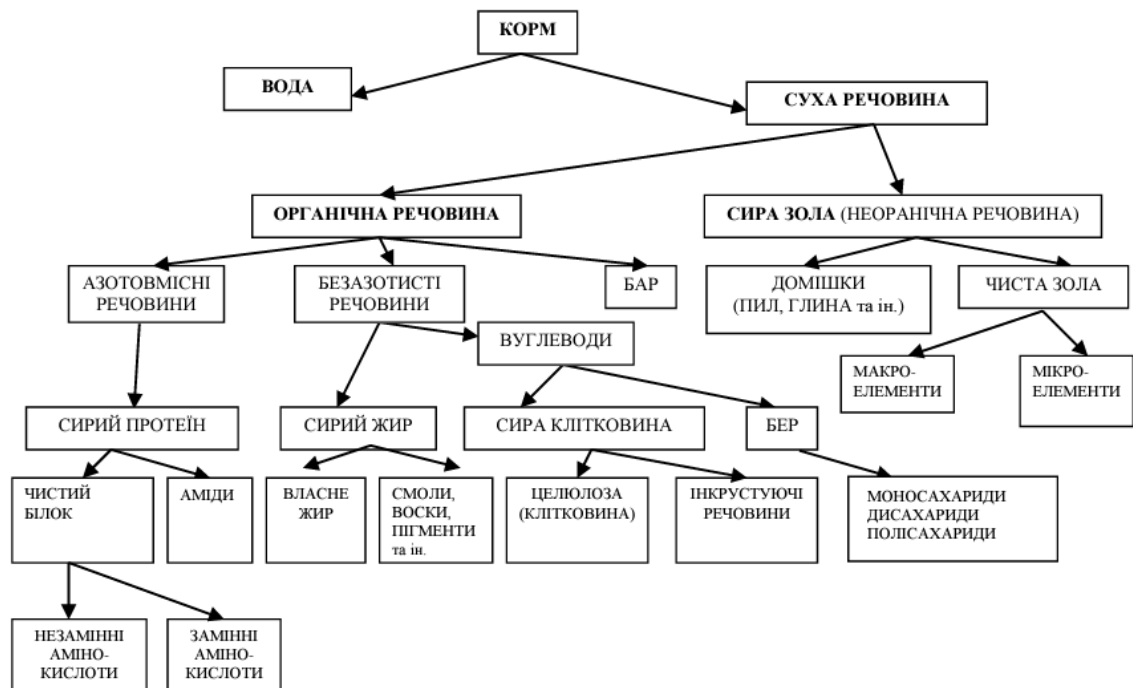


Рис. 3.5 – Схема хімічного аналізу корму

Швидкість росту риби, якість їх м'яса та ефективність використання корму залежить від кількості та якості поживних речовин, а також їхнього співвідношення в раціоні. Це підкреслює важливість знань про хімічний склад кормів, які використовуються для годування риби, при складанні раціонів і виготовленні комбікормів та кормосумішей. Хімічний склад кормів є основним показником їх поживності і вказує на здатність кормів задовольняти потреби риби у поживних речовинах. Кожен корм містить воду та суху речовину, причому всі поживні речовини зосереджені в сухій речовині. Чим більше сухої речовини в кормі, тим вища його поживність. До кормів, багатих на суху речовину, належать сіно, солома, трав'яне борошно, зернові культури, макухи, шрот, а також

штучно висушені корми тваринного походження, такі як кров'яне, м'ясо-кісткове, кісткове та рибне борошно. Водночас коренебульбоплоди, силос, барда та свіжий буряковий жом містять багато води і мало сухої речовини. [43-45]

Суха речовина включає органічні компоненти та неорганічну (сиру) золу. Сирою золю є суміш макро- та мікроелементів, а також сторонніх домішок, таких як пил, глина тощо. Високий вміст сирової золи спостерігається в сіна, соломи, трав'яного борошна, тоді як у зернових кормах, коренеплодах та зеленій масі її кількість значно менша. Органічна речовина складається з азотовмісних сполук (сирий протеїн), безазотистих речовин (сирий жир та вуглеводи) та невеликої кількості біологічно активних речовин (БАР).

Сирий протеїн включає всі азотовмісні компоненти корму, зокрема білки та аміди. Білки складаються з амінокислот і беруть участь у всіх біологічних процесах, а аміди є продуктами неповного синтезу або розпаду білків (вільні амінокислоти, аміди амінокислот, амонійні солі, нітрати, нітрити тощо). Бобове сіно, бобова солома, зерно бобових, макухи, шроти, а також висушені корми тваринного походження (кров'яне, м'ясо-кісткове, кісткове та рибне борошно) містять велику кількість сирового протеїну. Натомість коренебульбоплоди містять його мало. Безазотисті сполуки корму включають сирий жир і вуглеводи, серед яких сира клітковина та безазотисті екстрактивні речовини. [43-45]

Сирий жир – основне джерело енергії для організму риби. Енергетична цінність жиру в 2,25 разів переважає енергетичну поживність вуглеводів. Багато сирового жиру в зерні кукурудзи, сої та вівса, макусі, пшеничних висівках. Бідні на сирий жир коренебульбоплоди.

Сира клітковина складається з клітковини (целюлози) та інкрустуючих речовин, таких як лігнін, кутин, суберин та інші. Сіно, солома, полова і трав'яне борошно мають високу концентрацію клітковини. Корми тваринного походження взагалі не містять клітковини, а коренебульбоплоди містять її в мінімальних кількостях.

Безазотисті екстрактивні речовини (БЕР) — це органічні сполуки, які не є частиною сирової клітковини, сирого жиру чи сирого протеїну. До них відносяться цукри, крохмаль, пектозани та інші вуглеводи, за винятком клітковини. Велику кількість БЕР можна знайти в сіні, соломі, трав'яному борошні, зернових кормах, пшеничних висівках, макухах, шротах, мелясі та буряковому жомі. Менше цих речовин у коренеплодах, гичці та зеленій масі.

Біологічно активні речовини (БАР) присутні в кормах у малих кількостях, але вони мають значний вплив на обмін речовин, зокрема це вітаміни, ферменти, гормони, а також антипоживні та отруйні сполуки. Для вимірювання концентрації цих речовин використовують різні методи традиційного хімічного аналізу.

Вирощування личинок в умовах промислового вирощування (у лотках чи басейнах) з використанням стартових комбікормів значно покращує ефективність роботи рибницьких господарств. Такий підхід дозволяє отримати молодь вже на початку весни, коли через відсутність або недостатній розвиток природних кормів у ставках, а також через обмеження температурних умов, підрощування личинок там неможливе. Крім того, цей метод дозволяє забезпечити вирощування посадкового матеріалу для зариблення в будь-яку пору року для промислових установок.. Норми годівлі для личинок наведені у таблиці 3.11. [43-45]

Таблиця 3.11 – Рекомендовані рівні основних поживних речовин в складі повнораціонних комбікормів (на прикладі коропових), %

| Поживні речовини        | Середня маса риб |               |          |                     |
|-------------------------|------------------|---------------|----------|---------------------|
|                         | 1 – 100 мг       | 100 – 1000 мг | 1 – 50 г | 50 – 500 г і більше |
| Обмінна енергія, мДж/кг | 13-14            | 12-13         | 11-12    | 11-12               |
| Сирий протеїн           | 55-60            | 45-50         | 40-41    | 30-32               |

| Поживні речовини | Середня маса риб |               |          |                     |
|------------------|------------------|---------------|----------|---------------------|
|                  | 1 – 100 мг       | 100 – 1000 мг | 1 – 50 г | 50 – 500 г і більше |
| у т.ч. тваринний | 9-10             | 9-10          | 6-7      | 0,3                 |
| Сирий жир        | 2-3              | 2-3           | 3-4      | 2-4                 |
| БЕР              | 16-20            | 20-25         | 25-30    | 40-45               |
| Сира клітковина  | 0,3-0,6          | 1-1,5         | 3-5      | 4-7                 |
| Сира зола        | 5-12             | 5-14          | 5-15     | 5-15                |
| Лізин            | 3,6-4            | 2,8-3,5       | 2,1-2,3  | 1,8-2               |
| Метіонін         | 0,8-1            | 0,6-0,7       | 0,5-0,6  | 0,4-0,5             |
| Триптофан        | 0,5-0,6          | 0,3-0,4       | 0,3-0,4  | 0,2-0,3             |

До складу комбікормів входить рибне і кров'яне борошно, соєве борошно та інші корми високої якості. Рецепти стартових комбікормів для личинок коропа наведено у таблиці 3.12

Таблиця 3.12 – Рецепти стартових комбікормів для личинок і молоді риб (на прикладі коропових), %

| Компонент                    | Маса риб, г |       |
|------------------------------|-------------|-------|
|                              | До 0,1      | 0,1-1 |
| Борошно рибне                | 30          | 14    |
| Зерно пшениці                | 9           | 20    |
| Рисова мучка                 | -           | 9     |
| Зерно гороху                 | 50          | 50    |
| Дріжджі кормові              | 10          | 6     |
| Премікс П-2-1 чи П-5-1       | 1           | 1     |
| Всього                       | 100         | 100   |
| У 100 г комбікорму міститься |             |       |
| сирого протеїну              | 53,9        | 44-46 |
| сирого жиру                  | 3           | 2-3   |
| сирої клітковини             | 0,8         | 1-1,2 |
| сирої золи                   | 10-12       | 12-14 |

Розмір частинок стартових комбікормів повинен відповідати розміру ротового отвору, який має тісний зв'язок із масою личинок і мальків (табл.3.13). Якщо комбікорм виготовляється у вигляді гранул, їх дроблять і просівають крізь сита. [43-45]

Таблиця 3.13 - Розмір частинок стартових комбікормів для личинок і мальків риби в залежності від їх маси(на прикладі корошових)

| Маса личинок і молоді коропа, мг | Розмір частинок, мм | Розмір вічок сита для просіювання дроблених гранул, мм |
|----------------------------------|---------------------|--------------------------------------------------------|
| До 3                             | До 0,1              | 0,13                                                   |
| 3,1-10                           | 0,1-0,2             | 0,22                                                   |
| 11-50                            | 0,2-0,4             | 0,50                                                   |
| 51-100                           | 0,4-0,6             | 0,75                                                   |
| 101-300                          | 0,6-1,0             | -                                                      |
| 301-1000                         | 1,0-1,5             | -                                                      |
| 1001-2000                        | 1,5-2,5             | -                                                      |

Схема розподілу енергії в організмі риби включає надходження, перетворення і розподіл енергії для забезпечення життєво важливих процесів. Енергія, отримана з корму, розподіляється між основними потребами організму (рис 3.6 ).

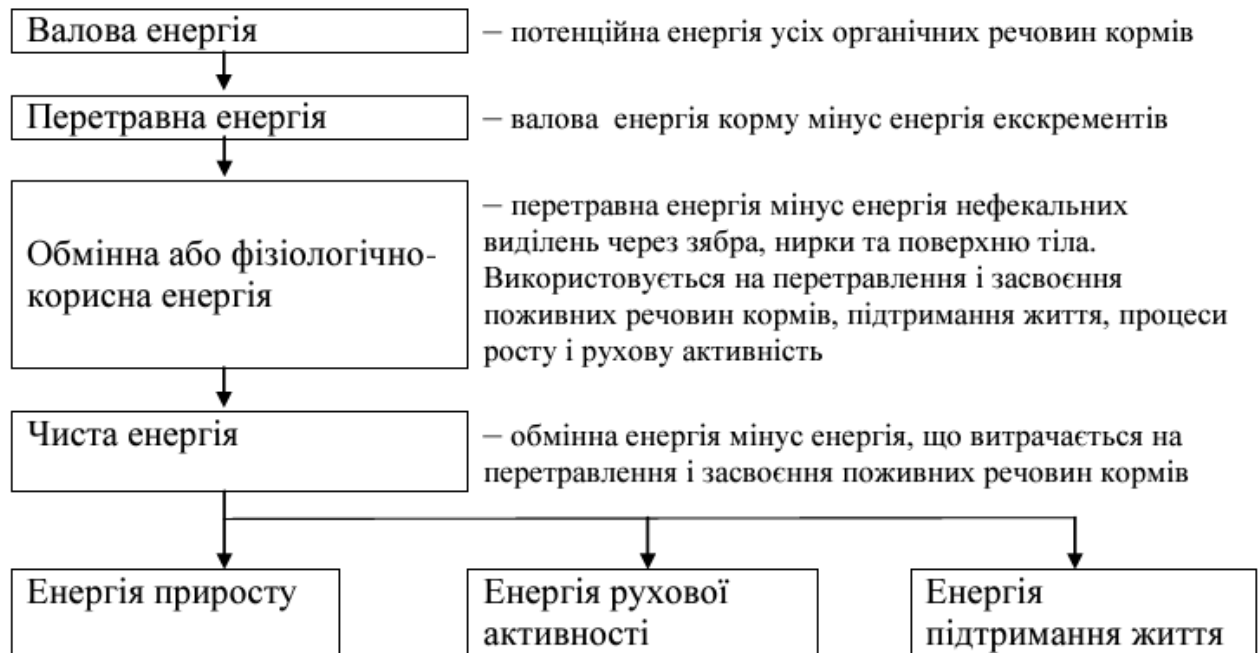


Рис. 3.6 – Схема розподілу енергії і методи визначення енергетичної поживності кормів

Режим годівлі та оптимізація складу кормів є ключовими чинниками у забезпеченні високої продуктивності та економічної ефективності індустріальної аквакультури. Ефективне планування годівлі є важливим елементом управління процесами в індустріальному рибництві. Воно базується на врахуванні біологічних потреб вирощуваних видів, технічних можливостей господарства та економічної доцільності. Планування годівлі у рибництві є основою ефективного функціонування рибницького підприємства і сприяє досягненню стабільного результату як у виробничому, так і в економічному аспектах. [43-45]

Режим та оптимізація визначають швидкість росту, здоров'я вирощуваних організмів, а також рівень використання ресурсів, що впливає на рентабельність виробництва і екологічну сталість галузі. Правильне планування годівлі дозволяє досягти оптимального росту риб, покращити засвоюваність кормів і зменшити витрати на їх використання.

Збалансований кормовий раціон має відповідати фізіологічним потребам конкретного виду, враховувати його вікові та сезонні особливості. Введення у склад кормів альтернативних джерел білків і жирів, таких як водорості, комахи або рослинна сировина, дозволяє знизити залежність від рибного борошна та жиру, що робить аквакультуру більш екологічно стійкою. [43-45]

Інноваційні підходи до режимів годівлі, включаючи автоматизовані системи та моніторинг споживання, зменшують втрати кормів, мінімізують екологічне навантаження на навколишнє середовище та підвищують рентабельність виробництва.

Таким чином, вдосконалення режиму годівлі та кормової бази є стратегічним напрямом розвитку аквакультури, що сприяє її стійкості та конкурентоспроможності на ринку. Отже це безпосередньо впливає на продуктивність, економічну ефективність та екологічну сталість галузі. Оптимізація складу кормів та впровадження сучасних технологій годівлі дозволяють знизити витрати, підвищити ріст і здоров'я вирощуваних об'єктів, а також мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Раціонально організований режим годівлі є одним із ключових факторів ефективного вирощування риб в індустріальному рибництві. Оптимізація частоти, тривалості та обсягів годування дозволяє забезпечити максимальний приріст біомаси, підвищити конверсію корму та зменшити кількість відходів, які можуть негативно впливати на якість водного середовища. [43-45]

Розробка та використання кормів із оптимальним співвідношенням білків, жирів, вуглеводів, вітамінів і мінералів забезпечує задоволення біологічних потреб риб на різних етапах їхнього розвитку. Впровадження кормів із високим рівнем перетравності та використання альтернативних джерел білка, таких як рослинні компоненти чи мікробні білки, сприяють зменшенню витрат на виробництво. Використання автоматизованих систем годівлі, які враховують поведінку риб і параметри водного середовища, дозволяє точно дозувати корми

та уникати перевитрат. Такий підхід забезпечує ефективне управління ресурсами та підвищує продуктивність аквакультурного господарства. Оптимізація режиму годівлі та складу кормів зменшує негативний вплив на екосистему через зниження кількості органічних відходів і забруднення води. Це є важливим кроком до сталого розвитку індустріального рибництва. Правильний режим годівлі та збалансовані корми сприяють скороченню виробничих витрат, підвищують рентабельність і конкурентоспроможність рибних господарств. Отже, впровадження оптимізованих режимів годівлі та складу кормів є невід'ємною частиною сучасного індустріального рибництва. Це дозволяє не лише досягти високої продуктивності, але й забезпечити екологічну та економічну сталість галузі. [43-45]

### **3.3 Системи контролю за станом води та підтримка здоров'я аквакультурних об'єктів**

Вода є основним середовищем для вирощування аквакультурних об'єктів, і її якість безпосередньо впливає на здоров'я, ріст та продуктивність риб та інших водних організмів. Контроль за станом води є ключовим аспектом ефективного та сталого ведення аквакультури. Для забезпечення оптимальних умов для розвитку водних організмів використовуються різноманітні системи моніторингу, що дозволяють відстежувати фізико-хімічні параметри води в реальному часі. [46-48]

До основних параметрів що контролюють якість води в аквакультурі відносять:

**Температура води:** Впливає на метаболізм риб та інших організмів. Кожен вид має свою оптимальну температурну зону, відхилення від якої може призвести до стресу, зниження імунітету або загибелі організмів. Температура води є одним

з найбільш важливих фізичних параметрів у аквакультури, оскільки вона безпосередньо впливає на фізіологічні процеси водних організмів. Контроль температури води є критичним для забезпечення оптимальних умов для розвитку риб, молюсків та інших аквакультурних об'єктів. Температурний режим визначає не тільки активність і ріст організмів, але і їх здатність до боротьби з хворобами, ефективність обміну речовин і засвоєння кормів. Контроль температури води є ключовим аспектом управління аквакультурним господарством. Точний моніторинг температури дозволяє своєчасно вжити заходів для корекції умов і підтримки оптимальних параметрів. [46-48]

**pH води:** Визначає кислотність або лужність води. Надто низький або високий pH може впливати на засвоєння поживних речовин і збільшувати токсичність важких металів. pH води є одним з основних параметрів, що впливає на стан аквакультурних об'єктів і визначає якість води. Це величина, що характеризує кислотність або лужність води і вказує на концентрацію водневих іонів у водному середовищі. Показник pH має великий вплив на фізіологічні процеси у водних організмах, такі як метаболізм, дихання, росту та репродукція. Невідповідність оптимальному рівню pH може стати причиною стресу у риб, уповільнення їх росту, підвищення вразливості до хвороб і навіть загибелі. [46-48]

**Окислювально-відновний потенціал (ORP):** Вказує на здатність води окислювати чи відновлювати певні речовини, що впливає на стан розчиненого кисню та токсичність води. Це важливий параметр, що характеризує здатність водного середовища до окислення або відновлення хімічних сполук. ORP вимірюється в мілівольтах (mV) і відображає рівновагу між окислювальними і відновними процесами у воді. Цей параметр має важливе значення в аквакультури, оскільки він безпосередньо впливає на здоров'я водних організмів, їх здатність до засвоєння поживних речовин та боротьби з інфекціями, а також на стабільність екосистеми в аквакультурних системах. [46-48]

**Розчинений кисень (DO):** Життєво важливий для водних організмів. Його дефіцит може призвести до гіпоксії і загибелі живих організмів. Розчинений кисень (DO, Dissolved Oxygen) є одним з основних параметрів, що визначають якість води в аквакультурі. Він характеризує кількість кисню, розчиненого у воді, який необхідний для дихання водних організмів. Кисень є критичним для життєдіяльності всіх водних істот — від риб і моллюсків до мікроорганізмів, що підтримують екологічну рівновагу в аквакультурних системах. Недостатня кількість кисню у воді може призвести до стресу, уповільнення росту, зниження продуктивності та навіть загибелі організмів. [46-48]

**Солоність:** Залежить від виду риб чи інших організмів, що вирощуються. Наприклад, морські види риб потребують води з певним рівнем солоності. Солоність є важливим параметром, який визначає якість води в аквакультурі. Це показник концентрації розчинених солей у воді і визначає, чи підходить середовище для життєдіяльності конкретних видів організмів. Солоність впливає на фізіологічні процеси у водних організмів, таких як осморегуляція, метаболізм, ріст і розмноження. Тому правильний контроль солоності є необхідним для підтримки здоров'я аквакультурних об'єктів і досягнення високих показників продуктивності. [46-48]

**Аммоній і нітрити:** Показники забруднення води, що виникають через розкладання органічних залишків і кормів. Їх надлишок може бути токсичним для риб. Аммоній ( $\text{NH}_4^+$ ) та нітрити ( $\text{NO}_2^-$ ) є важливими параметрами якості води в аквакультурі, оскільки ці сполуки виникають в результаті життєдіяльності аквакультурних об'єктів, зокрема внаслідок розкладу органічних залишків (корму, відходів життєдіяльності) та процесів метаболізму риб і моллюсків. Високі концентрації амонію і нітритів можуть бути токсичними для водних організмів і негативно впливають на їх здоров'я, продуктивність і виживаність. Тому важливо контролювати рівні цих сполук і забезпечувати належну обробку води для підтримання здорового середовища в аквакультурних системах. [46-48]

**Альгалинг (поглинання мікродоростей):** Перевищення норм кількості водоростей може призвести до евтрофікації води та зниження її якості.

Для ефективного моніторингу якості води в аквакультурі використовуються різноманітні технології та системи. Автоматизовані системи дозволяють постійно контролювати параметри води в реальному часі. Вони складаються з різноманітних сенсорів, датчиків і комп'ютерних програм для збору, обробки і аналізу даних. Системи зазвичай підключені до центральної бази даних, де зберігається інформація про стан води. Вони можуть бути інтегровані з системами автоматичного коригування (наприклад, додавання кислоти для корекції рН або аератори для збільшення рівня кисню).

Біологічні системи базуються на використанні живих організмів для контролю стану води. Одним із прикладів є використання фільтрувальних молюсків (устриць, мідій), що можуть надавати інформацію про рівень забруднення води за допомогою своїх фізіологічних реакцій. Біологічні системи є допоміжними, але їх використання надає додаткову цінність для оцінки стану навколишнього середовища. [46-48]

Супутникові технології дозволяють здійснювати моніторинг водних ресурсів на великих територіях, вимірюючи параметри, такі як температура води, зміст хлорофілу, прозорість і інші фактори, що впливають на екосистему. Ці дані можуть бути корисними для великих аквакультурних господарств і для управління водними ресурсами.

Належний контроль за станом води є необхідною умовою для забезпечення здоров'я риб та інших водних організмів. Від своєчасного виявлення проблемних параметрів води залежить якість вирощеної продукції та ефективність аквакультури загалом. Вчасний моніторинг дозволяє підтримувати необхідні умови для росту і розвитку риб. Постійний контроль допомагає запобігти розвитку хвороб, спричинених погіршенням якості води. Системи моніторингу

допомагають виявити забруднення води, що дозволяє знизити негативний вплив на екосистеми. [46-48]

Системи контролю за станом води є важливим інструментом для забезпечення стабільної та продуктивної роботи аквакультури. Автоматизовані сенсори, біологічні методи, технології IoT та супутникові спостереження сприяють покращенню якості води, зниженню ризику хвороб та підвищенню ефективності виробництва. Оскільки аквакультура стає важливим сектором продовольчої промисловості, важливо забезпечити постійний розвиток та вдосконалення технологій моніторингу водних екосистем для стійкості та довготривалого розвитку галузі.

Наступним важливим фактором, що визначає продуктивність і стійкість аквакультури є здоров'я аквакультурних об'єктів. Вода, як середовище для життя риб, молюсків та інших водних організмів, повинна відповідати певним стандартам для забезпечення нормального розвитку та зниження ризику хвороб. Підтримка здоров'я водних організмів передбачає комплексний підхід, що включає моніторинг стану води, належне годування, управління стресами та захист від хвороб. У цьому рефераті розглянемо основні аспекти підтримки здоров'я аквакультурних об'єктів, методи профілактики захворювань та сучасні підходи до управління здоров'ям. [49-50]

Здоров'я аквакультурних організмів є критичним для досягнення високої продуктивності, економічної ефективності та екологічної стійкості аквакультури. Від стану здоров'я риб або молюсків залежить не тільки їх ріст і розвиток, але й якість продукції, що виготовляється, а також екологічний вплив на навколишнє середовище. Основними факторами, які впливають на здоров'я аквакультурних об'єктів, є:

- Якість води (температура, рН, солоність, рівень кисню тощо);
- Харчування та годівля;

- Стресові фактори (переповненість, зміни температури, пошкодження);
- Профілактика та лікування хвороб.

Одним з ключових аспектів підтримки здоров'я водних організмів є контроль за станом води, оскільки забруднена або неправильна вода може бути джерелом захворювань і стресів для риб. Автоматизовані системи моніторингу води, що включають датчики для вимірювання параметрів, є важливою частиною забезпечення здоров'я аквакультурних організмів. [49-50]

Наступний важливий аспект – це профілактика, вона є основним методом збереження здоров'я аквакультурних об'єктів. Вона включає не тільки регулярний моніторинг води, але й контроль за іншими факторами, що можуть сприяти розвитку захворювань. Основні заходи профілактики: карантин нових особин, санітарія та дезінсекція, оптимізація годівлі, вибір стійких до хвороб риб.

Незважаючи на вжиті профілактичні заходи, у аквакультурних господарствах можуть виникати захворювання. Вони можуть бути бактеріальними, вірусними, паразитарними або грибковими. Стрес є важливим чинником, що знижує здоров'я аквакультурних об'єктів. Він може виникати через переповненість аквакультурних об'єктів, недотримання умов утримання та годівлі, а також через зміну температури або рівня кисню. Здоров'я аквакультурних об'єктів є основою для досягнення високої продуктивності та стійкості аквакультури. Для підтримки здоров'я необхідно регулярно контролювати стан води, забезпечувати належні умови утримання та годування, застосовувати профілактичні заходи для запобігання захворюванням та своєчасно проводити лікування. Використання новітніх технологій моніторингу води та генетичних методів селекції сприяє сталому розвитку галузі та забезпечує її ефективність в умовах сучасних вимог до екології та економіки. [49-50]

Ефективний контроль за станом води та підтримка здоров'я аквакультурних об'єктів є ключовими факторами успішного функціонування

аквакультурного виробництва. Якість води безпосередньо впливає на фізіологічний стан, ріст і продуктивність вирощуваних організмів, тому її постійний моніторинг та регулювання параметрів є першочерговими завданнями для господарств.

Використання сучасних систем контролю, таких як сенсори для вимірювання рівня кисню, температури, рН та вмісту аміаку, дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів водного середовища. Інтеграція автоматизованих систем моніторингу забезпечує не лише зниження ризиків втрати біомаси, але й оптимізацію витрат на виробництво. [50]

Здоров'я аквакультурних об'єктів залежить від профілактичних заходів, таких як вакцинація, використання пробіотиків, забезпечення збалансованого живлення та дотримання умов біобезпеки. Запобігання поширенню хвороб є економічно вигіднішим, ніж лікування, тому важливим є впровадження комплексного підходу до збереження здоров'я вирощуваних видів. [49-50]

Таким чином, інтегровані системи контролю за станом води в поєднанні з сучасними методами підтримки здоров'я аквакультурних об'єктів дозволяють забезпечити високу продуктивність, економічну ефективність та екологічну стійкість аквакультурного виробництва. Реалізація цих заходів сприяє сталому розвитку галузі та задоволенню зростаючого попиту на аквакультурну продукцію. Системи контролю за станом води та підтримка здоров'я аквакультурних об'єктів є фундаментальними аспектами успішного функціонування сучасної аквакультури. Умови водного середовища безпосередньо впливають на здоров'я, ріст і продуктивність вирощуваних організмів. Ефективний моніторинг параметрів води, таких як температура, рівень кисню, кислотність (рН), концентрація азотних сполук, солоність і прозорість, дозволяє підтримувати оптимальні умови для аквакультурних об'єктів. Використання автоматизованих сенсорних систем і сучасного програмного забезпечення значно підвищує ефективність такого моніторингу,

забезпечуючи своєчасне виявлення змін, які можуть негативно вплинути на продуктивність аквакультури. [50]

Підтримка здоров'я аквакультурних об'єктів є ще одним ключовим напрямом, який охоплює профілактичні та лікувальні заходи для зниження ризику захворювань. Основою профілактики є створення умов, які знижують стрес у риб, молюсків чи ракоподібних, зокрема забезпечення стабільних параметрів середовища та якісного корму. Використання вакцин, пробіотиків та імуномодуляторів є сучасними методами, що дозволяють мінімізувати вплив патогенів без надмірного застосування антибіотиків, які можуть призводити до розвитку стійких штамів мікроорганізмів. Крім того, регулярний ветеринарний контроль і раннє виявлення хвороб є критично важливими для запобігання епідеміям, які можуть мати катастрофічні наслідки для аквакультурних підприємств. [50]

Інтеграція систем моніторингу та підтримки здоров'я із сучасними технологіями, такими як Інтернет речей (IoT) та штучний інтелект, дозволяє не лише покращити точність і швидкість виявлення проблем, а й запобігати їх появі. Наприклад, прогнозування змін параметрів води або поведінкових реакцій риб допомагає приймати превентивні заходи. Використання дистанційного моніторингу дає змогу зменшити витрати часу і ресурсів, а також підвищити екологічну стійкість аквакультурних господарств.

Однак впровадження таких систем пов'язане з певними викликами. Серед них – високі початкові інвестиції, потреба в технічній підготовці персоналу, а також залежність від постійного технічного обслуговування та оновлення обладнання. У цьому контексті необхідно приділяти увагу розробці доступних і адаптивних рішень, які можуть бути впроваджені навіть у малих і середніх господарствах. [50]

Таким чином, забезпечення ефективного контролю за станом води та підтримка здоров'я аквакультурних об'єктів є важливими умовами для

забезпечення сталого розвитку аквакультури. Це не лише сприяє підвищенню продуктивності галузі, а й дозволяє зменшити екологічний вплив аквакультурних підприємств, забезпечуючи стабільність водних екосистем. Подальший розвиток у цьому напрямку має бути спрямований на впровадження інновацій, екологічно дружніх технологій і підвищення обізнаності про важливість гігієни водного середовища серед операторів аквакультури. [49-50]

На завершення варто зазначити, що системи контролю за станом води та підтримка здоров'я аквакультурних об'єктів є не лише технологічним викликом, але й важливою складовою загального підходу до сталого управління природними ресурсами. Водні екосистеми, які є базою для аквакультури, вимагають дбайливого ставлення, що передбачає інтеграцію екологічних, економічних і соціальних аспектів у діяльність галузі. У цьому контексті співпраця між науковцями, технологами, виробниками і регуляторними органами має ключове значення для розробки інноваційних рішень, які забезпечать не лише високу якість продукції, але й довготривалу стабільність екосистем, у яких ведеться вирощування аквакультурних об'єктів. [50]

## ВИСНОВКИ

Оптимізація методів вирощування об'єктів індустріальної аквакультури є важливою умовою підвищення ефективності галузі. Враховуючи високі темпи розвитку аквакультури і зростаючі вимоги до забезпечення сталого розвитку, необхідно постійно вдосконалювати технології вирощування риб і молюсків. Підвищення продуктивності, зниження витрат на корми та енергоефективність є критичними факторами для економічної ефективності та сталості аквакультури.

Введення сучасних технологій, таких як автоматизовані системи контролю за станом води, біофільтраційні та рециркуляційні системи, значно покращує умови для вирощування об'єктів аквакультури. Інноваційні методи дають можливість знизити негативний вплив на навколишнє середовище та зменшити витрати на утримання господарства. Використання закритих систем аквакультури дозволяє ефективно використовувати обмежені ресурси та підвищити стійкість господарств до коливань у зовнішньому середовищі.

Оптимізація годівлі є важливим фактором для досягнення високих темпів росту та зниження витрат на корми. Вибір правильних видів кормів та відповідних стратегій годівлі залежить від виду аквакультурного об'єкта, його віку, розміру та фази розвитку. Сучасні підходи до формулювання кормових раціонів та використання кормових добавок, таких як пробіотики, допомагають поліпшити ефективність використання корму та зменшити витрати.

Для забезпечення високої продуктивності аквакультури важливо запобігати розвитку захворювань. Вдосконалення систем біологічного контролю за станом води та здоров'ям організмів, а також застосування заходів щодо профілактики та лікування захворювань є необхідним для підтримки оптимального стану аквакультури. Використання вакцин, контролю за

мікробіологічним середовищем та поліпшення генетики об'єктів аквакультури також відіграє важливу роль у підвищенні стійкості організмів до хвороб.

Важливою частиною оптимізації методів вирощування є мінімізація негативного екологічного впливу. Це досягається через впровадження систем рециркуляції води, контроль за забрудненням навколишнього середовища, зменшення використання антибіотиків та хімічних добавок, а також використання відновлюваних джерел енергії. Збереження біорізноманіття та збалансоване використання природних ресурсів є основою для сталого розвитку аквакультури.

Зважаючи на тенденції розвитку аквакультури та зростаючий попит на морепродукти, індустріальне рибництво має великі перспективи. Подальше вдосконалення методів вирощування, інтеграція новітніх технологій, застосування наукових досягнень у сфері генетики, екології та технології кормів дозволять значно збільшити продуктивність та економічну ефективність галузі.

Рекомендується активно впроваджувати інноваційні технології, особливо у використанні рециркуляційних систем, біофільтрації та автоматизації процесів. Окрім цього, слід зосередитися на дослідженнях щодо оптимізації кормових раціонів, ефективного використання відходів та зменшення впливу на навколишнє середовище. Розвиток освітніх програм для фахівців аквакультури, а також спільна робота з екологічними організаціями можуть сприяти збереженню балансу між продуктивністю та екологічною безпекою.

Оптимізація методів вирощування об'єктів індустріальної аквакультури є ключовим чинником для забезпечення сталого розвитку галузі. Використання сучасних технологій, удосконалення кормових стратегій, моніторинг екологічних параметрів води та підвищення стійкості до хвороб дозволяють не тільки збільшити продуктивність, а й зменшити вплив на навколишнє середовище, що є основою для сталого розвитку індустрії на довгострокову перспективу.

Індустріальна аквакультура є ключовим напрямом забезпечення продовольчої безпеки та задоволення глобального попиту на водні біоресурси. Утім, інтенсивний розвиток цього сектору супроводжується екологічними та економічними викликами, які вимагають впровадження інноваційних підходів. Сталий розвиток аквакультури можливий лише за умови вдосконалення технологій, спрямованих на підвищення продуктивності, зменшення впливу на навколишнє середовище та оптимізацію ресурсів.

Сталий розвиток індустріальної аквакультури залежить від впровадження інноваційних технологій, які забезпечують баланс між продуктивністю та екологічною відповідальністю. Інвестиції в дослідження, автоматизацію та екологічні підходи є стратегічними напрямками для досягнення довгострокової стабільності галузі.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Timmons, M. B., & Ebeling, J. M. Recirculating Aquaculture Systems. Ithaca: Cayuga Aqua Ventures, 2020.
2. Intensive Fish Farming Muir, Roberts.
3. Shelley, C., & Lovatelli, A. Rearing Technologies for Aquatic Species in Closed Systems. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2018.
4. Тенденції розвитку світової аквакультури та рибогосподарський потенціал України URL: <https://nubip.edu.ua/node/78732>
5. Rottmann, R. W., Francis-Floyd, R., & Durborow, R. M. The Importance of Water Quality in Aquaculture. Southern Regional Aquaculture Center, 2018.
6. Дмитрієв, О. І. Економіка індустріального рибництва: оптимізація витрат. Науковий вісник "Аквакультура України", 2021, №2.
7. Optimization of Small-Scale Aquaponics Systems MDPI, 2022
8. Клименко, Г. І. Розробка кормових програм для індустріальної аквакультури. Журнал "Продовольча безпека України", 2021.
9. Boyd, C. E., & Tucker, C. S. Water Quality and Aquaculture Practices. Springer, 2019.
10. FAO Home Int'l Journal for Rural Dev.
11. Digital Library Int'l Journal for Rural Dev.FAOHome
12. FAO. Aquaculture Development Trends and Opportunities. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021.
13. <https://agro-business.com.ua/agro/ekonomichnyi-hektar/item/20708-standart-rozvytku-rybnytstva-i-akvakultury.html>
14. Назаров, А. В. Системи контролю за якістю води в рециркуляційних системах., 2019.
15. Лапіна, Т. В., та ін. Методи інтенсифікації рибництва. Журнал "Рибне господарство України", 2020, №4.

16. FAO. (2018). Costoianie mirovoho rybolovstva i akvakultury 2018 –Dostizhenie tselei ustoichivoho razvitiia State of the world fisheries and aquaculture 2018 - Achieving the goals of sustainable development]. Rome. License:CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
17. Trofymchuk, A.M., Trofymchuk, M.I. (2020). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku marykultury v Sviti ta v Ukraini Current state and prospects of mariculture development in the World and in Ukraine Ahrarna osvita ta nauka: dosiahnennia, rol, faktory rostu: materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii Agricultural education and science: achievements, role, growth factors: materials of the international scientificpractical conference. Ekolohiia, okhorona navkolyshnoho seredovyscha ta zbalansovane pryrodokorystuvannia: osvita-nauka-vyrobnytstvo Ecology, environmental protection and sustainable use of nature: education-scienceproduction, October 30, 2020. Bila Tserkva, pp. 20–22.
18. Сучасний стан та тенденції розвитку рибництва в Україні та світі URL: [chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclclefindmkaj/https://tvppt.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/pererobka/trofymchuk\\_2\\_2021\\_1.pdf](chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclclefindmkaj/https://tvppt.btsau.edu.ua/sites/default/files/visnyky/pererobka/trofymchuk_2_2021_1.pdf)
19. Бортнік, С. Ю. Основи аквакультури. Навчальний посібник. Київ: Либідь, 2017.
20. Гудзь, С. П. Сучасні підходи до вирощування водних біоресурсів. Харків: Видавництво ХНУ, 2020.
21. Wang, H., et al. Advanced Biotechnologies in Aquaculture Feed Development. Journal of Aquaculture Research, 2020.
22. Aquaponics and the Future of Sustainable Food Production, Tyson et al.
23. Fitzsimmons, K. Global Trends in Aquaculture Systems. World Aquaculture Magazine, 2021.
24. Воронін, М. М. Рибогосподарська характеристика внутрішніх водойм України. Львів: Видавництво ЛНУ, 2021.

25. Recirculating Aquaculture Systems, Timmons et al
26. Kelly, A. M., & Silverstein, J. Sustainable Aquaculture Practices. CRC Press, 2020.
27. Liao, P. B., & Mayo, R. D. Role of Technology in Aquaculture Sustainability. Aquatic Science Journal, 2019.
28. FAO. Climate Change and Aquaculture. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020.
29. Pillay, T. V. R., & Kutty, M. N. Aquaculture: Principles and Practices. Wiley-Blackwell, 2019.
30. Handbook of Fish Biology and Fisheries Hart, Reynolds
31. Мельник, А. Г. Полікультура та її ефективність в аквакультурі. Вісник рибного господарства України, 2021.
32. Wurts, W. A., & Durborow, R. M. Interactions between Water Quality and Fish Health. SRAC Publication, 2018.
33. Назаренко, О. М. Особливості вирощування коропа у промислових умовах. Матеріали конференції "Сталий розвиток аквакультури в Україні", 2021.
34. Advances in Aquaculture Water Quality Management, Boyd.
35. Деркач, В. С. Вплив годівлі на ріст водних біоресурсів у рециркуляційних системах. Журнал "Рибне господарство України", 2022.
36. Клименко, Г. І., Степаненко, В. С. Технологічні особливості вирощування лососевих у закритих системах. Київ: Агронаука, 2021.
37. Черняк, Л. П., Павлюк, І. В. Роль інновацій у розвитку аквакультури в Україні. Журнал "Природні ресурси України", 2020.
38. Гудзь, С. П. Оптимізація параметрів води для індустріального рибництва. Науковий журнал "Аквакультура і довкілля", 2022.
39. Шевчук, О. І. Технологічні підходи до вирощування осетрових у промислових умовах. Вісник Білоцерківського НАУ, 2021.
40. Бортнік, С. Ю., Назаренко, В. С. Розвиток рециркуляційних систем для вирощування водних біоресурсів. Журнал "Рибогосподарська наука", 2020.

41. Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants Lucas, Southgate
42. Білан, М. О., Гапоненко, В. В. Індустріальне рибництво в Україні. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2020.
43. методичні вказівки для виконання лабораторно-практичних занять та самостійної роботи студентів екологічного факультету денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 207 водні біоресурси та аквакультура. М.М. Сломчинський, С.П. Бабенко, О.А. Кузьменко та ін. – Біла Церква, 2022.
44. Artificial Intelligence-Based Aquaculture Systems, MDPI, 2023
45. Глушко, І. В., Дмитрієва, О. І. Екологічні аспекти індустріального рибництва. Журнал "Екологія та природокористування", 2021.
46. Principles of Sustainable Aquaculture, Beveridge
47. Лапіна, Т. В. Методичні підходи до годівлі в аквакультурі. Збірник наукових праць Водні біоресурси України, 2020.
48. Бортнік, С. Ю., Назаренко, В. С. Розвиток рециркуляційних систем для вирощування водних біоресурсів. Журнал "Рибогосподарська наука", 2020.
49. Білан, М. О., Гапоненко, В. В. Індустріальне рибництво в Україні. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України, 2020.
50. Environmental Best Practices in Aquaculture, FAO