

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І. І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра водних біоресурсів та аквакультури

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістра»

БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ РОЗВЕДЕННЯ ТА ВИРОЩУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ АКВАКУЛЬТУРИ В УСТАНОВКАХ ІЗ ЗАМКНУТИМ ЦИКЛОМ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ BIOLOGICAL BASES AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF AQUACULTURE BREEDING AND REARING IN CLOSED- CYCLE AQUACULTURE FACILITIES

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

Диновський Ернест Григорович

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник к.г.н., доц., Соборова О.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент д.с-г.н., доц., 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

БІОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ РОЗВЕДЕННЯ ТА ВИРОЩУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ АКВАКУЛЬТУРИ В УСТАНОВКАХ ІЗ ЗАМКНУТИМ ЦИКЛОМ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Диновський Е.Г., магістр кафедри Водних біоресурсів та аквакультури

Напрямок інтенсифікації рибництва на основі циркуляційних рибоводних систем, особливо за цінними видами та посадковим матеріалом, продовжує розвиватися в зарубіжних країнах в даний час, що прямо свідчить про переваги та перспективність цієї форми рибництва. Перспектива розвитку аквакультури має бути тісно пов'язана з використанням нових інтенсивних технологій.

Мета кваліфікаційної роботи магістра полягає у аналізі розробки біологічних основ і технологічних принципів вирощування об'єктів аквакультури в установках із замкнутим циклом водозабезпечення, а також визначення основних шляхів їхнього введення в загальну систему виробництва рибної продукції для підвищення її ефективності в цілому.

У кваліфікаційній роботі магістра розглянуто питання сучасних методів розроблення моделі замкнутих систем аквакультури, системи очищення води та вирощування живих об'єктів. В роботі детально проаналізовано методи введення замкнутих установок у загальну схему аквакультури та пропозицій щодо її оптимізації.

Особливу увагу приділено особливостям вирощування різних об'єктів в УЗВ, охарактеризовано якість водного середовища, визначено основні вимоги до комбикормів, причини та умови виникнення захворювань, можливі способи їх запобігання тощо. Загалом це дозволяє дати повну характеристику рибоводних УЗВ, пов'язаних із розробкою конкретних технологій.

Кваліфікаційна робота магістра представлена на 68 сторінках і включає в себе 9 таблиць, 7 рисунків, 39 літературних джерела посилань.

Ключові слова: аквакультура, риба, культивування, замкнуті системи водопостачання.

SUMMARY
BIOLOGICAL BASES AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES OF
AQUACULTURE BREEDING AND REARING IN CLOSED-CYCLE
WATER SUPPLY FACILITIES

**Dinovskiy E.G., Master of the Water bioresources and aquaculture
department**

The direction of intensification of fish farming based on circulating fish farming systems, especially for valuable species and planting material, continues to develop in foreign countries today, which directly indicates the advantages and prospects of this form of fish farming. The prospect of aquaculture development should be closely linked to the use of new intensive technologies, in particular technologies for the production of high-quality planting material.

The purpose of the master's thesis is to analyze the development of biological bases and technological principles of aquaculture in closed-cycle water supply facilities, as well as to identify the main ways to introduce them into the overall fish production system to increase its efficiency in general.

The master's thesis addresses the issues of modern methods of developing a model of closed aquaculture systems, water purification systems and the cultivation of living objects. The work analyzes in detail the methods of introducing closed systems into the general scheme of aquaculture and proposals for its optimization.

Particular attention is paid to the peculiarities of rearing different objects in the closed system, the quality of the aquatic environment is characterized, the basic requirements for feed, the causes and conditions of diseases, possible ways to prevent them, etc. are identified. In general, this allows us to give a complete characterization of fish farming CWSF related to the development of specific technologies.

The master's thesis is presented on 68 pages and includes 9 tables, 7 figures, 39 references.

Keywords: aquaculture, fish, cultivation, closed water supply systems.

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗАМКНУТИХ СИСТЕМ.....	5
1.1 Інтенсивність виділення метаболітів рибами	8
1.2 Розроблення базисної моделі замкнутої системи	18
1.3 Методика обґрунтування продуктивності рециркуляційних установок.....	30
2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ВИРОЩУВАННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЗАМКНУТИХ СИСТЕМАХ АКВАКУЛЬТУРИ.....	36
2.1 Структура та характеристика основних блоків біотехнології.....	37
2.2 Розробка технологій культивування різних видів в установках із замкнутим циклом водозабезпечення.....	48
2.3 Узагальнення та класифікація технологій вирощування різних видів риб в УЗВ	51
3 ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АКВАКУЛЬТУРИ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	56
3.1 Методика оптимальних систем аквакультури.....	58
3.2 Сучасне положення замкнутих установок у рибогосподарській структурі.....	59
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	65

ВСТУП

Збільшення виробництва риби традиційними методами, заснованими переважно на екстенсивному використанні природних ресурсів, має певні природні обмеження. Тому актуальним є широке використання індустріальних господарств, забезпечених інтенсивними технологіями. Рибницькі системи із замкнутим циклом водозабезпечення, які дають змогу в оптимальних умовах здійснювати цілорічне вирощування будь-яких видів аквакультури незалежно від кліматичних умов за одночасного досягнення максимальних показників росту та продуктивності і забезпечення екологічної чистоти виробничого процесу.

Виробництво риби із застосуванням існуючих методів індустріального рибництва вимагає величезних витрат води гарної якості. При цьому процес інтенсивного вирощування при великих щільності посадки риби, наприклад, у басейнах вимагає очищення води перед її скиданням у водойми.

Напрямок інтенсифікації рибництва на основі циркуляційних рибоводних систем, особливо за цінними видами та посадковим матеріалом, продовжує розвиватися в зарубіжних країнах в даний час, що прямо свідчить про переваги та перспективність цієї форми рибництва.

Мета і завдання дослідження. Метою даної роботи є аналіз розробки біологічних основ і технологічних принципів вирощування об'єктів аквакультури в установках із замкнутим циклом водозабезпечення, а також визначення основних шляхів їхнього введення в загальну систему виробництва рибної продукції для підвищення її ефективності в цілому.

Для досягнення мети вирішувалися такі завдання:

- проаналізовано наявні методи культивування та технології вирощування риби, їх оцінка з точки зору утилізації вирощування риби, їх оцінка з точки зору утилізації енергії, що надходить енергії, що надходить, зокрема екологічної чистоти, рівня продуктивності,

ступеня контролю технологічного процесу і вибір найбільш ефективних форм рибництва;

- проаналізовано розроблення моделі замкнутих систем аквакультури, системи очищення води та вирощування живих об'єктів;
- проаналізовано особливості утримання живих об'єктів в установках замкнутого типу;
- проаналізовано розроблення та освоєння технологій вирощування різних об'єктів аквакультури в умовах рециркуляційних систем;
- проаналізовано створення системи оцінки та вибору рибницьких установок;
- проаналізовано відпрацювання методів введення замкнутих установок у загальну схему аквакультури та пропозицій щодо її оптимізації.

Об'єктом дослідження є технологічні принципи розведення та вирощування об'єктів аквакультури в установках із замкнутим циклом водозабезпечення

Предмет дослідження полягає в оцінці біологічних основ та технологічних принципів розведення та вирощування об'єктів аквакультури в установках із замкнутим циклом водозабезпечення

1 ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЗАМКНУТИХ СИСТЕМ

Можливість якісного збільшення рівня продуктивності рибницьких господарств за рахунок підвищеної інтенсифікації, стабілізації умов життєвого середовища риб, концентрації та механізації технології вирощування послужили обґрунтуванням початку розвитку замкнутих системи [1-2].

Закриті циркуляційні системи щодо способів використання води мають свої переваги та недоліки. Основними особливостями порівняно з іншими способами є незначна витрата води, автономність виробництва, незалежність від навколишніх умов і, відповідно, відсутність шкідливого впливу на них.

Попадання отруйних речовин у споруду може бути скорочено до мінімуму, знижується небезпека впровадження паразитів і патогенних мікроорганізмів [2].

Подібні системи відносно незалежні від енергетичної бази, шляхів сполучення і займають невелику земельну площу, але водночас для обслуговування їх потрібен більш кваліфікований персонал.

Під час експлуатації замкнутих систем передбачається виникнення певних проблем, пов'язаних зі специфікою багаторазового використання води: підвищена концентрація мікроорганізмів на блоках очищення; повна залежність від мікроорганізмів на блоках очищення; повна залежність від якості кормів, що надходять; цілорічне утримання при високих температурах води і щільності посадки; інтенсивна швидкість (близька до граничних значень для виду) нарощування маси риб, що розводяться, тощо [1-3].

Досконалість системи очищення вважають відправним пунктом під час використання будь-якого типу рибницьких установок, тому що вихідні параметри технології вирощування живих об'єктів визначатимуться

продуктивністю очисної системи рибницьких установок, можливостями створення та дотримання необхідних умов для культивованих видів.

Необхідність розроблення моделі та методики розрахунку замкнутих систем зумовлена нескінченно великою кількістю варіантів вирощування риби або інших об'єктів, які виникають у замкнутих установках, що розрізняються за конструкцією, набором устаткування, обсягами виробництва продукції, набором і особливостями технології вирощування видів, конкретною прив'язкою до умов місцевості і т.п.

Підвищення виробничої віддачі потужностей рибоводних господарств, використовуваних водовідстійників, у багатьох країнах призводить до усвідомлення необхідності повторного використання води за допомогою розробки циркуляційних систем аквакультури [2-3].

Підставою для цього слугує факт, що часто спостерігається, коли якість води істотно поліпшується порівняно з якістю вихідної води, що надходить у систему. На початковій стадії замкнутий обіг зазвичай розглядається як додатковий засіб для постачання риб киснем і у зв'язку з цим дає змогу розширювати виробництво [2].

Однак надалі, у міру обмеження використання води наростанням її забруднення продуктами виділень риб, залишками кормів, виникла необхідність застосування будь-яких очисних споруд. Ефективність процесу відстоювання загалом визначається співвідношенням об'єму ємності відстійника і швидкості потоку води через нього [4].

Вода в рециркуляційних системах, що виходить із рибоводних басейнів, проходить очищення і знову повертається в рибоводні ємності, тобто багаторазово використовується.

Зазвичай вузол регенерації води в сучасних установках складається з декількох елементів:

- ✓ попереднє очищення води, де затримується основна частина твердих відходів (як правило, фізичний метод);

- ✓ основний біофільтр, у якому видаляється найбільш токсичний для риб елемент - аміак (біологічний метод, фізико-хімічний або хімічні методи);
- ✓ блок остаточного очищення, в якому вода доводиться до необхідних кондицій.

У такому вигляді система забезпечує надійний контроль за умовами середовища, дозволяє здійснювати відповідні заходи щодо його оптимізації. Ззовні надходять лише комбікорми, і, по суті, їх якість є другим основним фактором, що визначає кінцеві результати виробничого процесу [6-8].

Таким чином, вода, що витікає з блоку продуктивності, містить дисперговані частинки екскрементів і корму (що перебувають на різних стадіях розкладання), а також розчинені органічні та неорганічні сполуки, серед останніх основне значення має аміак [8].

У зв'язку з цим необхідно розробити уніфіковану методику розрахунку замкнутих систем, що відповідає всім вимогам створення УЗВ будь-якої потужності для вирощування будь-якого обраного об'єкта. Цю проблему вирішують на базі:

- ✓ визначення інтенсивності виділення метаболітів у риб при вирощуванні в УЗВ;
- ✓ розроблення системи критеріїв оцінки та вибору оптимальної форми УЗВ, включно з вузлами механічного та біологічного очищення оборотної води;
- ✓ характеристики кінетики процесів видалення забруднень з оборотної води;
- ✓ розроблення балансової моделі замкнутих систем під час вирощування риби, що враховує потоки речовини під час її проходження по блоках, які складають систему, і дає інформацію про якість води в кожній точці УЗВ і в будь-який момент часу;
- ✓ визначення параметрів якості водного середовища при інтенсивному вирощуванні риб у замкнутих установках;

- ✓ розроблення методики біологічного обґрунтування під час розрахунку продуктивності УЗВ.

1.1 Інтенсивність виділення метаболітів рибами

Кількісне вивчення динаміки виділення метаболітів, що утворюються в результаті життєдіяльності риб, необхідне для розроблення раціональних засад рибництва в замкнутих системах із застосуванням біологічних фільтрів, основною функцією яких є окислення аміаку й органічних речовин, що виділяються рибами [2-3].

Метаболіти азотного обміну, на 60-70% представлені аміаком (амонієм), найбільш токсичні для риб і, накопичуючись в оборотній системі, призводять до зниження темпу їхнього росту і накопичення продукції.

Тільки знаючи кількість метаболітів азотного обміну, що утворюються, можна запланувати реальні масштаби збільшення виробництва.

Проектування замкнутих установок має враховувати співвідношення окисної потужності біофільтра з кількістю метаболітів, що виділяються вирощуваними об'єктами [1-3].

У зв'язку з цим було проаналізовано інтенсивність виділення азотовмісних і органічних метаболітів рибами різної маси (на прикладі основного виду вітчизняної аквакультури - коропа).

Матеріали відображають інтенсивність обмінних процесів у риб у природних умовах, де рівень живлення та росту значно поступається аналогічним показникам, яких досягають риби при вирощуванні в регульованих умовах УЗВ [1-3].

Визначення інтенсивності виділення азотовмісних і органічних метаболітів у коропа різної маси, що перебуває на інтенсивній відгодівлі в установках оборотного водопостачання.

Величина виділення азоту рибами, яку загально визнано є однією з важливих складових білкового обміну в риб, використовується у фізіологічних розрахунках балансу білка та обліку енергетичних втрат в організмі [3].

На підставі цього використовують рівняння взаємозв'язку цих показників з індивідуальною масою риб (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Величини виділення азоту різними видами риб, що живляться, залежно від температури води

Маса риби, кг	Кількість азоту, що виділяється 1кг риби на добу, гМ/*кг*добу					
	20 ⁰	22 ⁰	24 ⁰	26 ⁰	28 ⁰	30 ⁰
0,001	2,87	3,38	3,97	4,67	5,50	6,46
0,01	2,28	2,68	3,16	3,71	4,67	5,14
0,1	1,81	2,13	2,51	2,95	3,47	4,08
1,0	1,44	1,69	1,99	2,34	2,75	3,24
10,0	1,14	1,35	1,58	1,86	2,19	2,57
100,0	0,91	1,07	1,26	1,48	1,74	2,04
1000,0	0,72	0,85	1,00	1,17	1,38	1,62
10000,0	0,57	0,67	0,79	0,93	1,10	1,29

Концентрацію амонію у воді визначають несслерізацією, вміст мінерального і органічного азоту у воді і екскрементах - спалюванням проб за К'ельдалем, кількість органічної речовини у воді й екскрементах визначають за ГСК (біхроматною окислюваністю) у пробах [3].

Для визначення параметрів степеневих рівнянь, що описують швидкість виділення азоту і органічної речовини в екскрементах (рівняння

інтенсивності виділення сумарного азоту й органічної речовини, розчиненої у воді), використовують:

1) дані з визначення вмісту азоту і ХСК в екскрементах, отримані на великих рибах (25-400 г), які показують, що азот екскрементів становить 17,95% від його вмісту в рідких виділеннях, а кількість органічної речовини (за ХСК), виділеної у вигляді екскрементів, становить 66,3% від сумарної кількості органічної речовини, виділеної коропом;

2) для всіх вагових категорій риб відношення азоту і ХСК у рідких виділеннях до цих самих показників в екскрементах є однаковим, і за основу розрахунку вищенаведені величини [1-3].

Показник ступеня використовують в узагальнених рівняннях, що застосовуються в математичній моделі УЗВ і при розрахунку біологічних обґрунтувань. Узагальнені матеріали наведено на рисунку 1.1.

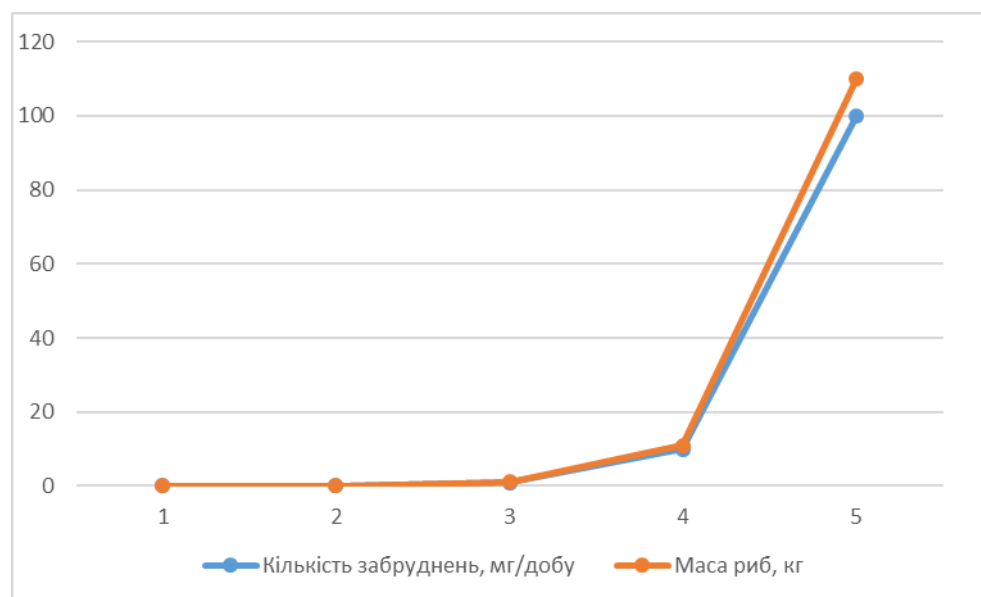


Рис. 1.1 – Інтенсивність виділення забруднень рибами залежно від маси

Складність оцінки тих чи інших типів установок полягає у відсутності системного підходу до критеріїв їхнього зіставлення і методики вибору оптимальної форми і рівня продуктивності [7].

Кінетика видалення забруднень у системі очищення оборотної води.

Продуктивність і ефективність застосування біофільтрів, значною мірою залежить від виду завантажувального матеріалу. Зі збільшенням питомої поверхні завантаження підвищується концентрація активної біомаси і відповідно окислювальна потужність споруди [8].

Наявні конструкції біофільтрів із площинним завантаженням зазвичай мають питому поверхню від 50 до 200 м²/м³. Подальше збільшення продуктивності біофільтрів можливе шляхом застосування гранульованих завантажень дрібних фракцій, що мають вищу питому поверхню (700 м²/м³ і більше) [1-3].

У конструкціях фільтрів очищення застосовано стандартні гранули поліетилену (середній діаметр 2,7 мм) з питомою поверхнею 750 м²/м³. Щільність поліетилену близька до щільності води 0,96-0,97 і до щільності біомаси бактерій (1,02-1,05), що забезпечить високу гідродинамічну стійкість і стабільну поверхню гранул у процесі обростання біомасою під час роботи в підвішеному стані [8-10].

Поліетилен виявляється високоміцним і зносостійким матеріалом, за використання рекомендованих марок - нетоксичним, а також стійким до дії агресивних середовищ, зокрема до дії мікроорганізмів. Крім того, застосування плаваючого дрібнозернистого завантаження в системі механічної фільтрації дає змогу домогтися високого ефекту очищення води від суспензії, тобто одночасно розробити новий тип механічного фільтра-відстійника [11-12].

Правильність обраного напрямку підтверджується у вигляді останніх розробок датських і американських учених, які взяли за основу конструкції компактних біофільтрів, наповнених поліетиленовими гранулами з різними способами їх перемішування [3-6].

Практичне використання різних ступенів очищення води, розробка моделі та обладнання УЗВ були неможливими без вивчення кінетики перетворення забруднень і отримання їхніх кількісних характеристик.

Механічне очищення води. Для зниження навантаження за органічними та азотовмісними сполуками на біофільтр забруднена вода має бути попередньо звільнена від нерозчинних домішок. Цей процес протікає в спорудах механічного очищення [5].

Фільтр-відстійник за вмістом завислих речовин у вихідній воді від 6.0 до 150 мг/л, швидкості фільтрування від 5 до 15 м/год, висоти шару фільтрувального завантаження від 0.2 до 0.5 м.

Суть методу полягає в послідовному визначенні кількості суспензії у воді, взятій з рибницьких басейнів і поміщеній у відстійники протягом заданих проміжків часу. На підставі математичного опрацювання отриманих даних визначено ефект осадження завислих речовин залежно від часу відстоювання.

За перші 10-20 хв відстоювання досягається ефект освітлення - 34-38% (до 45-51% в окремих серіях), що відповідає значенням гідравлічного навантаження 0,2-0,3 мм/с [8].

Найбільший ефект очищення - понад 93.3% - забезпечує схема, що містить первинний відстійник для осадження великих часток у вигляді екскрементів і залишків корму та фільтр із плаваючим завантаженням, що утримує дрібнодисперсні суспензії (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Різні вузли механічного очищення оборотної води

Середній вміст завислих речовин, мг/л		Ефект очищення,%
на вході	на виході	
39,2	34,8	11,2
16,6	3,0	81,9
15,0	1,0	93,3

Фільтри з різними плаваючими завантаженнями: спіненим полістиролом з крупністю фракцій від 1-3 до 8-10 мм (часто використовуються в рибницьких УЗВ) і поліетиленом (діаметр 2,7 мм) - показують, що застосування цих видів завантаження забезпечує практично однаковий ступінь освітлення води - 82-93%, але при однакових ефектах очищення поліетиленове завантаження легше регенерується [1-3].

Ефект освітлення води залежить від вихідної концентрації завислих речовин у воді та швидкості фільтрування. При збільшенні швидкості фільтрування від 5 до 15 м/год ефект освітлення знижується приблизно на 15%. При цьому істотного впливу висоти фільтрувального шару завантаження на ефект освітлення у зв'язку зі збільшенням швидкості фільтрування не знайдено [2-6].

За рівня вихідних забруднень вище 150 мг/л ступінь очищення різко знижується. У свою чергу, збільшення висоти фільтрувального завантаження від 0,2 до 0,5 м збільшує фільтроцикл з 18-20 год до 24-27 год через підвищення брудоемності завантаження [10].

Тривалість фільтроциклу для оборотних систем водозабезпечення ІРХ слід приймати не більше 24 год з огляду на можливість вторинного забруднення води продуктами розпаду осаду, затриманого у фільтрівідстійнику в разі тривалішого циклу роботи фільтра [12].

Рекомендуються такі робочі параметри фільтра-відстійника:

- ✓ швидкість фільтроциклу - 5-10 м/год;
- ✓ висота шару завантаження - 0.5-1.0 м;
- ✓ тривалість фільтроциклу - не більше 24 год;
- ✓ тривалість відстоювання - 5 хв.

За цих параметрів забезпечується стабільна якість очищення оборотної води від завислих речовин (ефект освітлення 85-90% за вихідної концентрації завислих речовин у воді 6,0-150 мг/л).

Біологічне очищення оборотних вод. У спорудах біологічного очищення рибницьких систем протікає одночасно низка процесів: окислення

органічних речовин, нітрифікація, денітрифікація, автоліз, які призводять до трансформації вихідних речовин і часткового виділення їх у вигляді осаду й газоподібних продуктів [13].

Для прогнозування якості оборотної води в системі необхідно визначити кінетику вилучення забруднень на кожному ступені очищення (зрошуваному фільтрі, нітрифікаторі та денітрифікаторі).

Зрошуваний фільтр. Складність визначення швидкості вилучення забруднень на цій споруді полягає в тому, що час перебування рідини в ньому невідомий, оскільки вода рухається в ньому не суцільним потоком. Час перебування залежить від висоти і питомої поверхні завантаження, а також витрати води, що надходить. Дані щодо роботи зрошуваних біофільтрів різної конструкції по вилученню органічних забруднень (ХСК) і амонійного азоту за різних режимів гідравлічного навантаження показано на рис. 1.2.

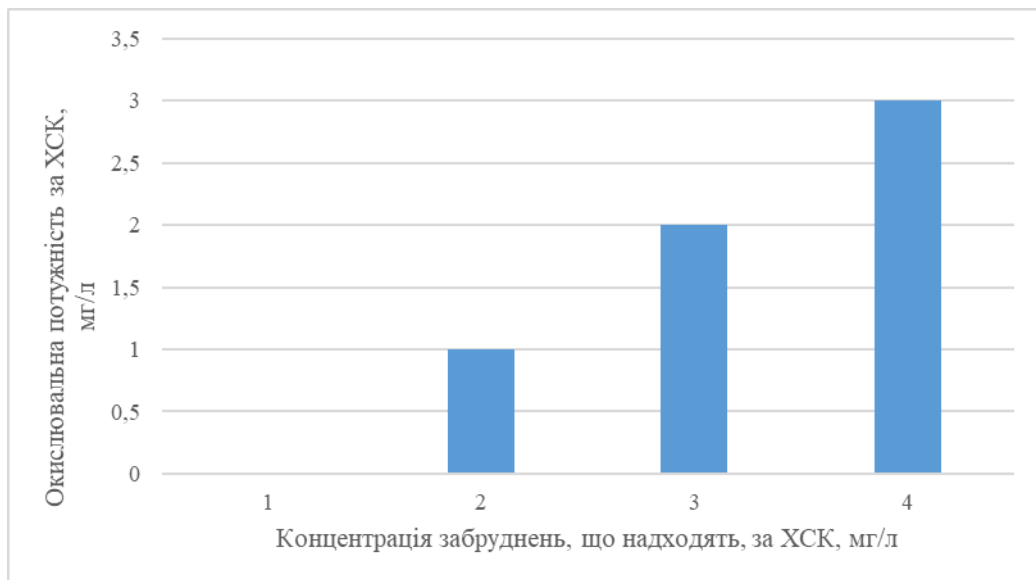


Рис. 1.2 – Залежність окисної потужності зрошуваного біофільтра від концентрації забруднень, що надходять (за ХСК)

Ефект очищення оборотної води залежить від часу перебування води в завантаженні та вихідної концентрації забруднень.

Занурювальний біофільтр-нітрифікатор. Кінетику процесу нітрифікації визначають вихідну концентрацію забруднень за NH_4 , концентрація розчиненого кисню і рН води, що подається. Виявлено характеристику впливу цих факторів на швидкість процесів нітрифікації [8].

Зі збільшенням часу перебування води, що очищується, в нітрифікаторі до 1,4 год спостерігається різке збільшення ефекту очищення води за N-NH_4^+ .

Дані з кінетики процесу нітрифікації (за вмісту кисню > 2 мг/л) наведено на рисунку 1.3.

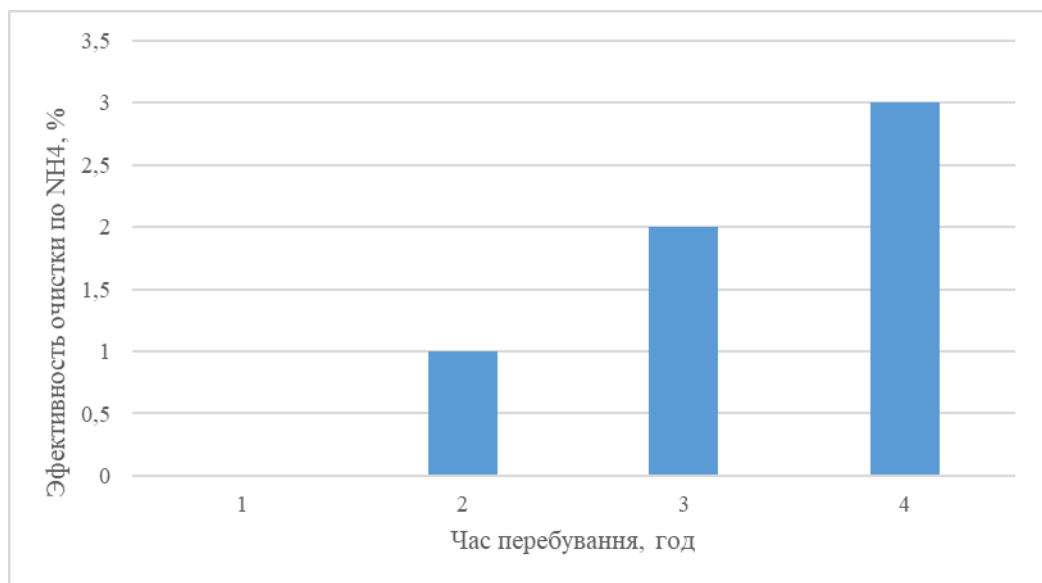


Рис. 1.3 – Ефективність видалення азотних забруднень у занурювальному біофільтрі залежно від часу

Ефективність нітрифікатора залежить від концентрації амонію у воді, що надходить на очищення. За вихідної концентрації амонію, що дорівнює 8,2 мг/л, і часу 1,4 год ефект становив 96,4%, а за концентрації 57,9 мг/л -

тільки 68,3%. Окислювальна потужність за цих значень відповідає 5,7 г N-NH₄⁺ на 1 м² завантаження біофільтра [12].

Збільшення гідравлічного навантаження не чинить істотного впливу на потужність окислення за ХСК і продуктивність за амонійним азотом. Пояснення цьому можна знайти в специфіці замкнутих рибницьких систем, оскільки окислювальну потужність фільтра розраховують за добовим навантаженням на споруду та загальним часом контакту зворотної води з біомасою, що не змінюється протягом доби [13].

Окислювальна потужність біофільтра з поліетиленовим завантаженням за різних гідравлічних режимів роботи за ХСК та амонійним азотом наведені на рисунку 1.4.

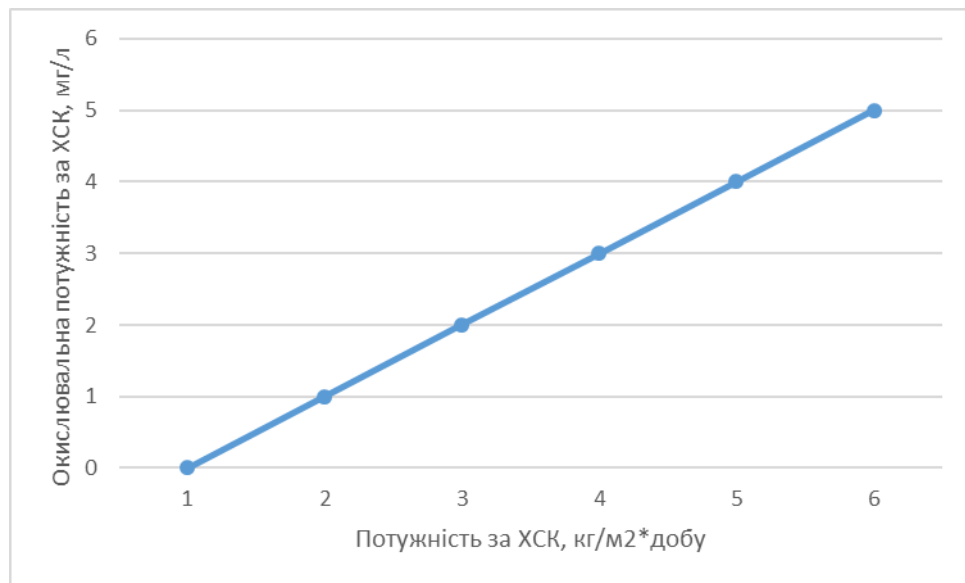


Рис. 1.4 – Залежність окисної потужності біофільтра від окисної потужності

Зі збільшенням навантаження на біофільтр за ХСК у діапазоні 0,2-6,2 кг/м²*добу. окислювальна потужність наростає від 0,16 до 4,7 кг/м²*добу. Швидкість вилучення забруднень зростає пропорційно їхньому збільшенню.

При подальшому збільшенні навантаження біофільтр не забезпечує повного очищення, показники забруднень виходять за межі нормативів якості води [11].

За порівнянної якості очищення води продуктивність фільтрів із поліетиленовим завантаженням за ХСК майже в 2 рази, а за солями амонію - на 80% вища, ніж у разі використання площинного завантаження [18-20].

Інтенсивність очищення води за амонійним азотом практично безпосередньо залежить від вихідного навантаження за цим видом забруднень.

Біологічний фільтр із дрібнозернистим завантаженням забезпечує потрібну якість води за навантаження забруднень за ХСК до $4,2 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{добу}$, за амонійним азотом - до $250 \text{ г/м}^3 \cdot \text{добу}$, за розглянутої витрати води від 45 до $180 \text{ м}^3/\text{м}^2$ на добу [21].

Типи біофільтрів показують, що незалежно від способу переміщення дрібнозернистої показує, що незалежно від способу переміщення дрібнозернистого завантаження (гідравлічного чи пневматичного), умови його регенерації, продуктивність за ХСК і (N-NH_4) цих споруд практично однакові.

Це пояснюється однаковими умовами роботи гранульованого завантаження, частина якого в процесі експлуатації перебуває в розширеному, а частина - у завислому стані, та об'єктивно підтверджується наявністю сучасних модифікацій аналогічних фільтрів, представлених іншими розробниками [22-24].

Вплив солоності на очищення оборотної води. З метою кількісного опису відомого впливу цього чинника на ефективність утилізації забруднень біоценозом конкретних конструкцій системи очищення УЗВ, в яких перевіряють ступінь очищення оборотних вод різної солоності від нерозчинених у воді домішок і розчинених органічних забруднень, а також сполук азоту [16-17].

Ефективність механічного очищення на моделях фільтрів із плаваючим завантаженням практично не залежить від солоності води. На прісній воді (контроль) і воді із солоністю до 36 о/оо за швидкості фільтрування 5-10 м/год досягався однаковий ефект освітлення - до 90%. Несприятливого впливу солоності на стан фільтрувальних матеріалів не відзначено.

Визначення ступеня очищення оборотної води за трьох рівнях солоності 12, 24, 36‰ і прісній воді (контроль) на біофільтрах із плаваючим дрібнозернистим завантаженням показує, що швидкість окиснення органічних забруднень за солоності 12‰ порівняно з прісною водою була нижчою на 10-15%, за солоності 24 ‰ - відповідно нижчою на 25-30%, за солоності 36‰ - нижчою на 40-45%, причому швидкість нарощування біомаси була повільною - до 2 місяців щодо органічних забруднень, і до 3 місяців - щодо сполук азоту.

Швидкість вилучення амонійного азоту також знижується з підвищенням солоності води, проте ступінь впливу цього чинника дещо менший. Ефект очищення зменшується поступово на 5-8, 10 і 20 % відповідно солоності 12, 24 і 36‰ порівняно з прісною водою [17].

1.2 Розроблення базисної моделі замкнутої системи

Відомо, що управління і підтримання таких факторів середовища, як освітленість, температура, солоність, концентрація кисню у воді, легко реалізується техніко-конструктивними рішеннями, тоді як навіть простий прогноз і елементи управління хімічним складом циркуляційної води є найскладнішою проблемою, яка важко піддається розв'язанню в практиці УЗВ.

У зв'язку з цим є завдання створити математичну модель рибницької системи оборотного водопостачання, придатну для визначення

прогностичної ситуації хімічного складу оборотної води в рибницьких УЗВ [12-14].

Циркуляційні системи аквакультури більше стосуються якісного боку процесів, які в них відбуваються, визначення оптимальних показників якості води на різних стадіях вирощування, роботи очисної системи різних типів, зіставлення їх з натурними показниками типів, зіставлення з навантаженнями риби, токсичності забруднень для риб, тощо. Загалом, такий підхід не сприяє комплексному розробленню прогностичної моделі УЗВ [12].

Використовують найпростішу рециркуляційну систему, що складається з двох блоків. У першому (акваріумі) перебувають гідробіонти, які виділяють забруднення (які виражають у $\text{г/м}^3 \cdot \text{добу}$), у другому блоці (очисна споруда) відбувається їх видалення, що виражається за допомогою коефіцієнта очищення в частках одиниці. Задані витрати свіжої води на підживлення системи [14].

Наведені тривіальні рівняння потоку води і рівня концентрації забруднення у всіх точках замкнутої установки.

До недоліків цієї моделі можна віднести:

- її стаціонарність: навіть у найпростішому варіанті вона не придатна для опису будь-яких змін концентрації забруднень або швидкості витрати води;
- спрощена структура: не взято до уваги наявність відстійників (первинного і вторинного), а отже, і їхніх функціональних характеристик - видалення осаду із системи;
- не розписані рівняння зростання об'єктів, їхніх раціонів і конкретні форми виділення метаболітів залежно від зовнішніх і внутрішніх факторів;
- не задано математичний опис роботи очисної системи і характер її зв'язку з гідравлічним і біологічним навантаженням [2].

Для очисної споруди наведено рівняння максимальної швидкості нітрифікації ($\text{г/м}^3 \cdot \text{добу}$) залежно від температури води.

На основі рівнянь і виходячи із загальної поверхні біофільтра можливий розрахунок будь-якої УЗВ за максимально допустимим навантаженням по рибі. Незважаючи на хорошу фізіологічну основу, закладену в рівняннях, що описують функціональні характеристики замкнених систем, ця модель:

- не розглядає загального балансового підходу у вигляді систем рівнянь, що описують потік води і рівень концентрації забруднень у будь-який час у заданій точці УЗВ;
- характеризує очисну споруду тільки за швидкістю видалення аміаку (нітрифікація), і не наводить рівнянь іншої складової системи очищення - швидкості окислення органічних сполук у циркуляційній системі;
- рівняння задає швидкість нітрифікації як постійну величину, що не залежить від концентрації аміаку у воді та гідравлічного навантаження на біофільтр, і тому не може слугувати для опису динаміки процесів, що відбуваються у всій системі [4].

Математичний опис процесу вирощування риби в установках зі зворотним водопостачанням має охоплювати всю систему циркуляції води загалом, тому що істотний вплив на розподіл градієнтів концентрацій забруднень за окремими її блоками чинить як прямий, так і зворотний потік речовини в системі.

Ступінь цього впливу особливо значуща в системах з високою кратністю обороту. У таких системах відбувається накопичення залишкових забруднень, що важко окислюються, а також вторинних забруднень, що утворюються під час розкладання осаду, автолізу біомаси та біообростань [3-6].

Під час побудови загальної моделі водообороту, виходячи з принципів системного аналізу об'єкта, сукупність процесів трансформації забруднень, які одночасно протікають у блоках очищення, вилучення їх у вигляді осадів, газоподібних продуктів, виділення вторинних забруднень з урахуванням

кінетики цих процесів та особливостей гідродинамічної ситуації в кожному вузлі системи [2-3].

За нестационарного режиму роботи системи швидкість зміни маси речовини в її об'ємі не дорівнює нулю і залежить від характеру зміни вхідних і вихідних потоків (подачі корму, скидання води й осаду, добавки свіжої води). Масовий потік речовини в контурі системи змінюється як по «довжині», так і в часі [6].

Тому при ступінчастій зміні введення або виведення речовини з системи, вона поступово через певний проміжок часу перейде в новий рівноважний стан.

За циклічного характеру зміни зовнішніх параметрів відгук системи також циклічно змінюється. Затримка відгуку в часі за водооборотом визначається періодом $T = W/Q$ (час обороту води в системі), ефективністю роботи блоків очищення, витратою осаду, що видаляється, і підживлювальної води, а також гідродинамічними характеристиками системи. Зокрема, для розв'язання задачі необхідні дані про структуру циркулюючого потоку по всьому контуру водообігу [4-8].

Блоки біологічного очищення з площинним завантаженням відповідають комірковій моделі, блоки первинної та вторинної механічної очистки - моделі вирівнювача із застійними зонами [3].

Блок продуктивності близький до змішувача: вода тут інтенсивно перемішується аераторами і рибою, яка перебуває в ньому.

В контурі системи аератор і рециркуляційний насос є змішувачами, а рух потоку в комунікаціях, теплообміннику, оксигенаторі здійснюється в режимі витіснення.

Особливості структури потоків у блоках очищення води враховані розрахунковими формулами для цих споруд. Рибоводні басейни, зважаючи на значний питомий об'єм у системі та інтенсивне перемішування води в них, виконують роль усереднювача [8-10].

За цих умов схему водообороту спрощують, приймаючи формально, що концентрація забруднень оборотної води стрибкоподібно змінюється в блоках продуктивності, блоках очищення і в місці введення підживлювальної води, а по довжині комунікаційної мережі вона у фіксований момент часу є постійною [8-11].

Тоді розв'язання задачі можливе в загальному вигляді, користуючись тими самими принципами, що було застосовано під час виведення рівнянь. Зокрема, при ступінчастій зміні вхідних параметрів за вказаними формулами визначають рівноважну концентрацію забруднень оборотної води до і після зміни зовнішніх параметрів. Характер зміни концентрації в певній точці комунікаційної мережі протягом періоду часу [3-5].

В основу концепції розроблюваної математичної моделі покладено балансовий підхід до функціонування УЗВ.

Зміну концентрації гідрохімічних показників у будь-якій точці (блоці) УЗВ можна розрахувати, знаючи хімічний склад води на вході в цей блок і кінетику перетворення цих речовин у ньому [14-15].

Ця модель представлена кінетичними рівняннями всіх блоків УЗВ, об'єднаними балансовою рівністю в систему рівнянь, що відображає єдиний масовий потік у всіх точках УЗВ.

За мінералізації води із солоністю понад 10‰ швидкість нітрифікації різко знижується (порівняно з прісною водою), що зумовлює необхідність застосування двоступеневих схем очищення морської води [16-18].

Як перший ступінь слід використовувати біореактори з дрібнозернистим завантаженням (що застосовуються в рибницьких системах із прісною водою), як другий ступінь за невисокої солоності (до 10‰) - біореактори-нітрифікатори. За більш високої солоності води (понад 10‰) застосування нітрифікаторів може виявитися економічно недоцільним [8].

Для цих умов більш вигідним можуть бути біосорбенти з використанням активованого вугілля або цеолітів. Вплив солоності води на ефективність очищення враховується введенням спеціальних коефіцієнтів,

що коригують кінетику процесів окиснення органічних і азотних речовин у солоній воді (табл. 1.3).

Дана модель здійснює прогноз таких найбільш важливих показників якості води, як амонійний азот і ХСК в будь-якій точці системи і в будь-який момент часу, а також основні рибницькі показники: загальну і середньо штучну масу риби, раціон і загальне навантаження за кормом [12-13].

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнтів і показників ступенів у залежностях блоків механічного очищення

Спорудження	A_0	α_0	γ_0	η_0
Первинний фільтр з плаваючим завантаженням	0,7	0,09	0,103	0,92
Фільтр доочищення з плаваючим завантаженням	0,93	0,15	0,213	0,90

Якість оборотної води. Успішне вирощування риби в установках із замкнутим циклом водопостачання значною мірою визначається умовами водного середовища. Однаковою мірою це стосується оцінки якості розробленої моделі УЗВ, оскільки критерієм її працездатності слугують саме показники якості води, які розраховані і спостерігаються в діючій системі [15].

Отже, необхідність встановлення оптимальних параметрів якості води і можливість їх регулювання - одна із серйозних проблем під час утримання риби в УЗВ.

Склад водного середовища формується під впливом багатьох чинників:

- якості води, що надходить у систему;
- якості та кількості кормів;

- процесів життєдіяльності риб і мікроорганізмів біофільтра;
- конструктивних особливостей та ефективності роботи біофільтра;
- технологічних заходів, пов'язаних з експлуатацією установки та регулюванням параметрів середовища.

Спостереження за якістю водного середовища проводять за різними фізико-хімічними та хімічними показниками. При цьому спостерігається накопичення біологічно важко розкладних органічних речовин, які можна характеризувати величиною λ при 315 [14-16].

За тривалої експлуатації УЗВ, без істотної заміни води, λ 315 досягає значень 1,2-1,8 проти 0,05 для вихідної води. Однією з характеристик стану водного середовища в УЗВ може слугувати ОВП (окисно-відновний потенціал) [10].

Органічну речовину визначали за ГПК і перманганатною окиснюваністю (ПО). Значення цих показників здебільшого перебували в межах: ГПК - 10-75 мг/л; ПО - 3-25 мг/л; максимальні значення ХСК - 152 мг/л; ПО - 35 мг/л. Рівень органічного забруднення майже прямо пропорційний кількості внесених кормів (рис. 1.5).

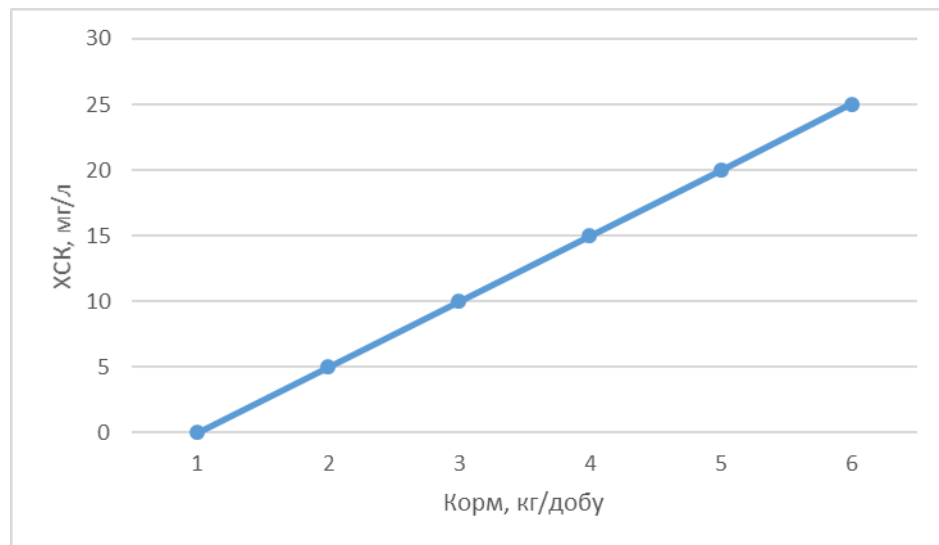


Рис. 1.5 – Залежність між кількістю корму, що надходить, і рівнем органічного забруднення води

Основними потенціал задавальними системами водного середовища є кисень, органічні речовини, сполуки змінної валентності, зокрема, азотні форми. ОВП в УЗВ змінився від +60 мв до +350 мв. У силосах спостерігається стратифікація за глибиною. Біля дна ОВП знижується в низці випадків у два і більше разів, що вказує на посилення відновлювальних властивостей, тобто можливий вищий вміст нітритів і амонію [12-13].

Відомо, що в природних умовах вмісту кисню понад 7 мг/л відповідають значення ОВП від +350 до +700 мв, залишаючись позитивним навіть за мінімального його вмісту.

В УЗВ кисневий режим за можливості підтримують на рівні 7 мг/л і вище, тому низькі відносно теоретично можливих значення ОВП зумовлені істотною роллю речовин, що мають відновлювальні властивості.

При цьому спостерігається не тільки підвищене органічне забруднення, а й можливий і різкий стрибок у вмісті нітритів і амонійного азоту (NO_2^- до 3.5 мг N /л, NH_4^+ до 15 мг N/л, NH_3 до 0.6 мгN/л) (рис. 1.6).

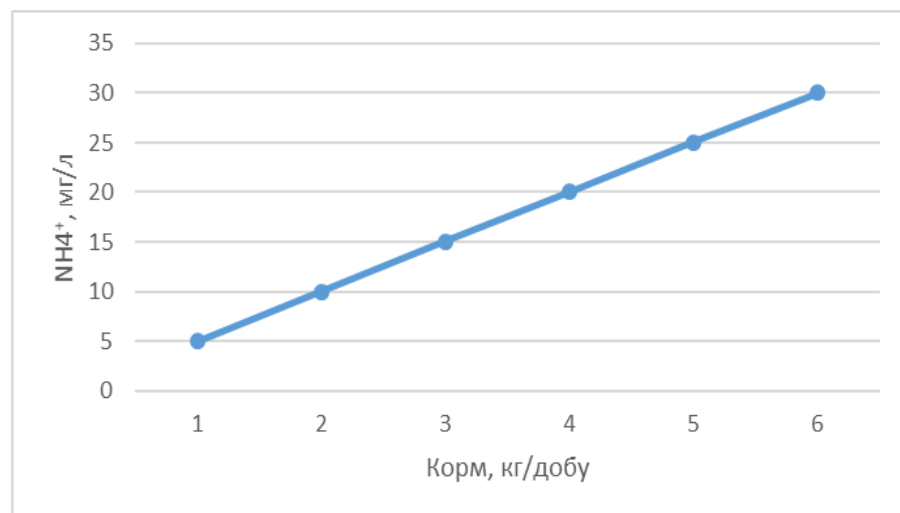


Рис. 1.6 – Залежність між кількістю внесеного корму та вмістом амонійного азоту

Наявність і концентрація азотовмісних сполук (амонію, нітритів, нітратів) залежать від швидкості та спрямованості процесів нітрифікації та денітрифікації й тісно пов'язані з роботою біофільтра [15-18].

Вміст амонію і нітритів як проміжних продуктів цих процесів схильний до коливань (у середньому NH_4^+ 0-8 мгN/л; NO_2^- 0-0.5 мгN/л); нітрати мають тенденцію до накопичення, але зазвичай їхній вміст не перевищує 100 мгN/л.

За різкого підвищення добової дози корму (понад 20% за добу) або за наближення до максимально-можливого для цього біофільтра навантаження (в результаті модифікації біофільтра його ефективність значно підвищено) можливий збій у роботі установки [3-6].

Токсичний вплив багатьох речовин знижується в жорсткій воді. Бажано, щоб жорсткість була не менше 3.5 мг-екв/л. В установці зазвичай коливається в межах 5-7 мг-екв/л. За низької жорсткості бажано вносити солі кальцію [2].

Згубного впливу нітритів на рибу можна уникнути шляхом підвищення солоності води. У солоній воді організми менше схильні до стресу. За вмісту нітритів понад 0,2-0,3 мгN/л у систему вносять кухонну сіль у кількості 5-10 на кожні 0,1 г нітритного азоту в куб.м. В окремих випадках підвищують вміст хлоридів до 300 і більше мгCl/л.

При перевантаженнях на біофільтр концентрація амонійного азоту може різко зростати майже в десятки разів, проте чітко вираженою токсичністю володіє лише вільний аміак. Його процентний вміст в амонії визначається рН середовища. Шляхом зниження рН середовища можна уникнути появи в системі УЗВ токсичних доз вільного аміаку [13].

рН водного середовища - один із найважливіших показників у характеристиці роботи УЗВ. Практично всі розчинені у водному середовищі речовини чинять той чи інший вплив на рН: лужні компоненти підвищують рН, більшість органічних сполук і кислоти - знижують його величину, жорстка вода якоюсь мірою стабілізує рН. У свою чергу, величина рН

визначається ступенем токсичності багатьох біологічно активних речовин. Визначальну роль відіграє рН у роботі біофільтра [18-20].

Найбільш сприятливі умови для вирощування риби. Збалансовані процеси нітрифікації та денітрифікації. Навіть за можливих перевантажень вільний аміак в амонії не перевищує 1%, тож його вміст зазвичай нижчий за нормативний. $\text{pH} < 6.8$ має тенденцію до різкого зниження. Подібні умови спостерігаються за тривалої роботи УЗВ і явного переважання процесів нітрифікації над денітрифікацією. Відбувається значне накопичення нітратів - понад 80 мгN/л; швидкості накопичення органічної речовини менші.

За таких умов практично відсутній вільний аміак, але токсична дія нітритів посилюється в кислому середовищі [22].

Своєчасно й найефективніше стабілізувати рН в оптимальних межах. Оптимальних межах - одне з основних завдань з формування якості води в УЗВ.

Кислотність водного середовища визначає вміст речовин, що вступають у реакцію із сильними основами. Цей показник відіграє істотну роль лише за $\text{pH} < 7.0$, оскільки в УЗВ рН в основному був вищим за 7.0, то кислотність була невелика і коливання незначні - 0.2-0.5 мг-екв/л [23].

Лужність визначає вміст у воді речовин, що перешкоджають зниженню рН. У чистих природних водах ЗВУ близька до 10 мг-екв/л, у болотних - 0.5 мг-екв/л.

Залежно від тривалості функціонування установки і рН лужність змінювалася в межах 0.2-7.0 мг-екв/л, в основному - 4.5-5.0 мг-екв/л.

Показник лужності тісно пов'язаний з буферною ємністю. Величина буферної ємності визначається кількістю сильної кислоти або луку, при додаванні якої в середовище рН змінюється на одиницю. Величина буферної ємності водного середовища УЗВ при підвищенні рН з 7.0 до 8.0 - 0.02-0.08 мг-екв/л, при зниженні з 8.0 до 7.0 - 0.40-0.50 мг-екв/л, що в сукупності з досить високою лужністю (4.5-5.5 мг-екв/л) вказує на значну забуферованість

середовища УЗВ лужними компонентами і є умовою стійко підвищених значень рН [24-26].

Показник буферної ємності вельми корисний при виборі реагенту і визначенні його кількості для регулювання рН. Крім органічних і азотовмісних речовин, в УЗВ надходить з кормами і в результаті життєдіяльності риб і організмів біофільтра маса речовин мінерального походження. Частина їх видаляється із залишками та рибною продукцією.

Ступінь завантаженості системи мінеральними компонентами в найпростішому варіанті можна оцінити за допомогою електропровідності водного середовища. Виявилось, що цей показник змінювався незначно - 1.8-2.0 мкСм і за значенням був близький до електропровідності водопровідної води [12-14].

За тривалої експлуатації УЗВ без істотної зміни води спостерігається перерозподіл мікро- і макроелементів, що надходять у систему.

Якщо співвідносити потреби коропа в мінеральних компонентах з їхнім вмістом у кормі, то виявиться, що Zn, Cu, Ca, K і P перебувають в оптимальному співвідношенні, а вміст Mg у 1.5-2 рази, Mn - у 5-10 разів. Fe - у 2-3 рази більше від необхідного. Однак у рибі ці співвідношення змінюються і, порівняно з довідковими даними, вміст елементів підвищується таким чином: Zn - у 8-10 разів, Mg, Ca, K - у 4-5 разів. Fe і P - у 3-4 рази, Mn і Cu - у 2-3 рази [2].

Марганець. Незважаючи на його надлишковий вміст у кормі та мінімальне накопичення в рибі, значною мірою виноситься з осадом і, імовірно, активно використовується мікроорганізмами біофільтра, тому за тривалої експлуатації УЗВ він майже зникає з водного середовища.

Мідь практично відсутня у воді, що надходить в УЗВ, але оскільки вона незначною мірою акумулюється в опадах, то навіть за оптимального вмісту її в кормі відбувається накопичення цього компонента в оборотній воді майже до граничних концентрацій [10-11].

Залізо значною мірою концентрується в опадах, але незважаючи на це спостерігається явно підвищений вміст цього компонента в рибі та тенденція до накопичення у воді.

Цинк - елемент, що дуже активно мігрує в системі. За високого вмісту його у воді, що надходить, і оптимального співвідношення у кормі, він настільки інтенсивно виноситься з осадом, акумулюється в рибі і, ймовірно, використовується мікрофлорою, що опиняється в явному дефіциті, бо практично відсутній у воді працюючої УЗВ [22-23].

Можливі оптимальні межі основних параметрів якості водного середовища при вирощуванні риби в системах із замкнутим водопостачанням:

- допускаються коливання рН - 6.5-7.5. За нижчих значень рН гальмуються процеси денітрифікації, і як кінцеві продукти можуть накопичуватися шкідливі для риби оксиди азоту, такі, як NO, N₂O, NO₂. Низькі рН посилюють і їхню токсичність. При підвищенні рН різко зростає відсоток токсичного для риби вільного аміаку;
- вміст нітритів не повинен перевищувати 0.3 мгN/л;
- концентрація амонійного азоту при рН 6.5 - до 20 мгN/л; за рН 7.0 - до 10 мгN/л; за рН 7.0-7.2 - до 5 мгN/л; за рН 7.2-7.5 - до 2.5 мгN/л; за рН 7.5-8.0 - не більше 1 мгN/л. Вміст амонійного азоту обмежується рН і відсотком вільного аміаку, концентрація останнього за тривалого впливу на рибу не повинна перевищувати 0.05 мгN/л;
- вміст нітратів - до 50 мгN/л;
- навантаження за органічною речовиною не має перевищувати за ХСК 35-60 мгО/л;
- жорсткість води - не менше 3 мг-екв/л, оскільки в жорсткій воді підвищується стабільність рН, а також знижується згубна дія на рибу аміаку, низькі важких металів та інших токсикантів.

1.3 Методика обґрунтування продуктивності рециркуляційних установок

Критерії оцінки та методика вибору УЗВ. Зазвичай для оцінки результатів діяльності підприємств використовуються прийоми техніко-економічного аналізу, однак, як правило, збір таких даних по роботі замкнутих установок неможливий через важку доступність повних, достовірних і систематизованих матеріалів [1-2].

Це істотно ускладнює вибір оптимальних схем і конструкцій циркуляційних установок, що змусило нас перейти до вироблення критеріїв, пов'язаних з особливостями функціонування УЗВ.

Необхідно мати уявлення про загальні ознаки та критерії оцінки працездатності замкнутих систем [2-3].

У зв'язку з цим узагальнено матеріали по роботі діючих УЗВ із залученням літературних матеріалів з метою вироблення таких критеріїв і застосування їх для вибору оптимальної форми і найперспективнішого типу УЗВ.

В основу наведеної оцінки ставлять загальні вимоги:

- ефективність утилізації та перетворення енергії;
- можливість необмеженого збільшення продуктивності;
- надійність і управління технологічними процесами;
- можливість переробки забруднень;

а також вимоги, що диктуються специфікою рибницьких установок з оборотним водозабезпеченням:

- методи очищення мають бути досить інтенсивними і ефективними, що забезпечують необхідну кількість оборотної води за мінімальних її втрат;
- споруди для очищення води мають бути економічними, компактними, простими в улаштуванні та експлуатації. Бажано з

використанням самоочисних блоків біологічного та механічного очищення оборотної води;

- вода повинна зберегти в процесі очищення свої природні властивості.

Вимоги повною мірою відповідають методи біологічного очищення, що здійснюються в аеротенках, біофільтрах та їх модифікаціях, у поєднанні з механічними методами [10].

Для порівняльної оцінки ефективності роботи різних типів діючих установок обрано такі показники:

K_o - співвідношення обсягів рибоводних басейнів (V риба) та обсягів очисних споруд (V очист.) визначається як $K_o = V \text{ очист.} / V \text{ риба}$;

Q_n - кількість підживлювальної води, % від загального обсягу замкнутої системи;

Pr - співвідношення маси риби і води в рибоводних басейнах (усієї системи) або продуктивність за рибою, виражена в $\text{кг}/\text{м}^3$.

У рибницьких системах аеротенків K_o становить від 5 до 19, при використанні аеротенків-відстійників - 3-5. Однією з особливостей, що обмежують мінімальний розмір аеротенків, є повільна швидкість мулу, що вимагає затримки стічної води в реакторі не менше 5-6 годин.

Однак навіть у цих умовах досвід експлуатації аеротенків не завжди забезпечує необхідну якість води [12].

В аеротенках, де активний мул переміщується з очищеною водою, необхідна концентрація біомаси накопичується шляхом її рециркуляції. З цією метою мул відокремлюється від води, зазвичай у відстійниках, і повертається в зону аерації.

В умовах низьких навантажень, характерних для цих систем, пластівці активного мулу роздроблені і погано відстоюються. Це призводить до необхідності збільшення тривалості осадження в муловідокремлювачах і значних об'ємів цих споруд [16-18].

Якщо враховувати характер забруднень, що надходять, і вимоги до якості оборотної води, то біологічне очищення, як зазначалося вище, повинно передбачати проведення процесів окиснення органічних речовин, окиснення амонійних солей і відновлення окислів азоту, що утворюються. Ці процеси здійснюються мікроорганізмами, для розвитку яких потрібні свої специфічні умови [2-3].

Серед систем із біофільтрами доцільне застосування установок із $Q_p = 5-10\%$, для яких економічно виправдані витрати на підігрів свіжої води. Застосування прикріплених біоценозів, які використовуються на біофільтрах різних модифікацій, забезпечує високу концентрацію організованої біомаси бактерій, а специфіка руху води в біофільтрах забезпечує спонтанний ріст мікрофлори за ходом руху води, що дає змогу здійснювати всі стадії процесу з високими швидкостями [6].

Внаслідок цього застосування біофільтрів дає змогу в 3-10 разів знизити об'єми блоків порівняно з аеротенками.

Більш сучасні пристрої біофільтрів із плаваючим само регенованим завантаженням, що плаває, можуть мати в той самий час більш низьке K_0 на рівні 1:1 і 0.7:1.0 за збереження в нормі основних рибницьких показників і параметрів якості води [6-8].

Переваги всіх типів біофільтрів у загальному вигляді можна виразити:

- у меншому об'ємі вторинних відстійників відносно споруд з активним мулом;
- у збільшенні ступеня корисного використання поверхні завантаження за рахунок більш високого водообміну і рівномірного розподілу потоку води по всій площі споруди;
- у зменшенні кількості осаду, що скидається, і свіжої води для заповнення втрат, скорочення небезпеки вторинного забруднення;
- більшої стабільності в роботі в разі зміни біологічного навантаження і більшої надійності в разі припинення подачі електроенергії, води або повітря.

Зазначені переваги роблять застосування біофільтрів рибницьких систем переважним у діапазоні витрат оборотної води (тобто води, що перебуває в системі) від 0,5 до 2000 м³/добу.

Саме з цих причин біофільтри частіше вводяться до складу сучасних рибницьких систем. Сітчасті фільтри забезпечують нижчий ефект освітлення і до того ж потребують надмірної кількості води для промивання сіт від бруду, що накопичився. У разі насичення води киснем істотно підвищується ємність установок по рибі і скорочується витрата оборотної води. Переважно використовувати автономні джерела (генератори кисню) [13-14].

Таким чином, необхідний набір обладнання для установок із замкнутим циклом водозабезпечення має включати:

- рибоводні басейни;
- споруда механічного очищення води;
- біофільтр;
- блок водопідготовки (знезараження, регуляція температури, насичення киснем).

Для розрахунку біологічного очищення важливі такі показники:

- окислювальна потужність біофільтра, м²добу;
- питома поверхня завантаження, м²/м³;
- гідравлічне завантаження, м³/м²*добу. ;
- об'єм затопленого фільтра нітрифікатора, м³;
- висота завантаження, м;
- питома продуктивність за різними видами забруднень, г/м³*добу або г/м²*добу.

Видалення осаду може здійснюватися шляхом застосування одного з розроблених прийомів (концентрація, ущільнення, проморожування, стабілізація та ін.), які спрямовані на підвищення загальної екологічної захищеності технологічного процесу вирощування риби в УЗВ [8].

При створенні математичної моделі УЗВ послідовно вивчають та отримують нові дані щодо характеристики інтенсивності виділення

метаболітів рибами, що вирощуються в умовах УЗВ, пов'язати їх з кінетикою процесів перетворення та видалення забруднень при проходженні оборотної води по різних блоках та очищення рециркуляційних систем, створені рибоводні установки з регульованими умовами середовища, що відповідають усім вимогам промислового вирощування різних об'єктів аквакультури, які не поступаються міжнародним стандартам [13-16].

Розрахунок математичної моделі замкнутих систем, розробка на цій основі технічного обладнання, кількісний опис процесів, що відбуваються в УЗВ, дають змогу запропонувати методіку розрахунку й обґрунтування продуктивності замкнутих установок для вирощування різних об'єктів.

Особливості вирощування різних об'єктів в УЗВ, охарактеризовано якість водного середовища, визначено основні вимоги до комбікормів, причини та умови виникнення захворювань, можливі способи їх запобігання тощо. Загалом це дозволяє дати повну характеристику рибоводних УЗВ, пов'язаних із розробкою конкретних технологій [18-20].

Для визначення кількісних показників інтенсивності виділення загальних та азотних забруднень залежно від маси риб, що вирощуються в УЗВ, і температури води, а також кількісної характеристики процесів кінетики видалення метаболітів у системі біологічного очищення оборотної води розробляють модель замкнутих систем, яка оформлена у вигляді системи рівнянь і дозволяє прогнозувати воду у будь-який момент часу та місці УЗВ.

Ефективність роботи біофільтрів з очищення оборотної води від загальних забруднень знижується зі збільшенням солоності до 12‰ на 10-15%, при 24‰ - на 25-30%, при 36‰ - на 40-45% порівняно з прісною водою при одночасному зниженні вилучення амонійного азоту на 5-8, 10 та 20 % [2-6].

Підвищення виробничої віддачі потужностей рибоводних господарств, використовуваних водовідстійників, у багатьох країнах призводить до

необхідності повторного використання води за допомогою розробки циркуляційних систем аквакультури [13-14].

На початковій стадії замкнутий обіг зазвичай розглядається як додатковий засіб для постачання риб киснем і у зв'язку з цим дає змогу розширювати виробництво. Однак надалі, у міру обмеження використання води наростанням її забруднення продуктами виділень риб, залишками кормів, виникає необхідність застосування будь-яких очисних споруд. Цей прийом слугує основою потенційно нескінченно довгого використання певних обсягів води. Цей процес лімітується втратами води на випаровування, обслуговування фільтрів тощо, які заповнюються за рахунок підживлення свіжою водою [22].

Характеристика основних типів та блоків очищення УЗВ дозволяють визначити систему показників оцінки та методику вибору та розрахунку рибоводних установок, що задовольняють вимогам ефективності роботи замкнутих систем за компактністю, простотою влаштування та надійності, а також забезпечують у цілому сприятливі умови для життєдіяльності риб [26-27].

2 ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРИНЦИПИ ВИРОЩУВАННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ У ЗАМКНУТИХ СИСТЕМАХ АКВАКУЛЬТУРИ

Новизна розроблюваних принципів полягає в їхній прив'язці до цілорічного вирощування водних об'єктів в УЗВ, оптимізації умов для забезпечення максимальної продуктивності та росту, що є серйозним навантаженням на організм вирощуваних риб [5-6].

Математична модель функціонування УЗВ і створення відповідної техніки, системи розрахунків, які зазвичай застосовують під час складання рибницько-біологічного обґрунтування, що дають змогу загалом розпочати розроблення технологічних принципів вирощування водних об'єктів в УЗВ.

Основні принципи складання і розроблення технологій зводяться до таких основних позицій:

- підбір і розробка відповідної техніки та обладнання УЗВ;
- характеристика особливостей вирощування різних об'єктів у замкнутих установках;
- оптимізація якості середовища та методів його контролю, температурного режиму;
- вибір параметрів технологічних факторів (щільності посадки, водообмін, режим утримання тощо);
- система годівлі та рецептура комбікормів;
- профілактика і лікування захворювань.

Послідовні етапи розроблення технології включають, крім того, експериментально-виробничі дослідження за конкретними видами, визначення показників росту, щільності посадки, швидкості дозрівання, виживання та інших технологічних нормативів вирощування досліджуваних об'єктів [13-16].

2.1 Структура та характеристика основних блоків біотехнології

Нині досить чітко визначається сучасний тип УЗВ, який, незважаючи на різні конструкторські рішення, вирізняється подібними технічними та технологічними характеристиками:

- склад установок містить повний набір блоків, що забезпечують усі технологічні етапи вирощування видів риби, які розводять: регулювання температури, вмісту кисню у воді, рН; стерилізацію оборотної води, механічне та біологічне очищення;
- установки мають надійну і компактну систему біологічного очищення води при співвідношенні її обсягу до обсягу рибоводних блоків (К_о) близько 1:1;
- середньорічний вихід рибної продукції становить 300-500 кг/м³ рибницьких басейнів, щільність риби по відношенню до об'єму води (Пр) коливається в межах 1:7 - 1:14;
- щодобове підживлення свіжою водою не перевищує від 3-5 до 10% від загального обсягу системи;
- якість оборотної води відповідає необхідним показникам у діапазоні солоності від 0 до 35 ‰;
- витрати електроенергії та води перебувають приблизно на одному рівні і становлять для типових моделей відповідно 5-10 кВт і 30-100 л, кормів - 1-2 кг на 1 кг вирощеної продукції [16-20].

Під час створення рециркуляційних систем входять також із визначених критеріїв - простоти конструкції, надійності та довговічності обладнання, здатності до самоочищення блоків біологічного та механічного очищення води за одночасного забезпечення відповідного рівня потужності та універсальності використання для вирощування різних видів [22-25].

Технічні характеристики та параметри типових модулів, принципову схему установки наведено на рисунку 2.1.

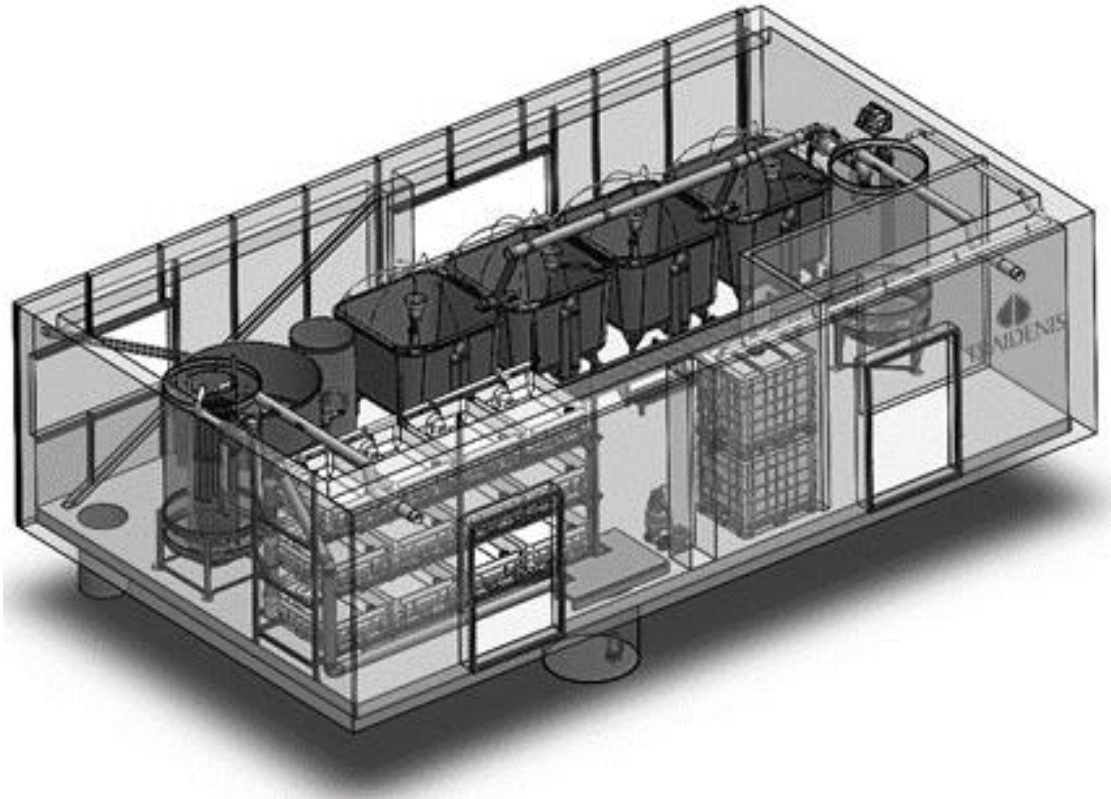


Рис. 2.1 – Установа із замкнутим циклом водозабезпечення потужністю 10 т на рік рибопосадкового матеріалу

Розроблені установки як одиничні модулі повної заводської готовності блоків для виробництва товарної риби та оснащення цехів з виробництва молоді культивованих риб [16-18].

Усі розроблені вузли мають оригінальну конструкцію, підтверджену заявками на винахід і патентною документацією. Типовий модуль на 10 т коропа на рік пройшов приймально-здавальні випробування і рекомендований до серійного виробництва (табл. 2.1).

На основі математичного моделювання розроблено низку блоків очищення різних модифікацій і типорозмірів, а також схему їхнього включення в систему водозабезпечення вже наявних рибницьких підприємств, що значно здешевлює реконструкцію та будівництво нових рибницьких об'єктів [20-21].

Блоки очищення на 1, 10 м² оборотної води на годину включено до складу установок для підрощування молодняка та утримання плідників в автономному режимі [23].

Таблиця 2.1 – Параметри типових установок продуктивністю 10 і 40 т коропа на рік

Найменування показників	Потужність за коропом	
	УЗВ-10	УЗВ-40
Займана площа, м ²	140	450
Загальний об'єм води в установці, м ³	60	280
Обсяг води в басейнах, м ³	24	136
Установча потужність, кВт/год	24	66,5
Витрата оборотної води, м ³ /добу	до 960	до 3300
Витрата підживлювальної води, м ³ /добу	0,25	14
Витрата кисню, кг/год	0,3	5

Порівняно із зарубіжними аналогами розроблені установки вигідно вирізняє відсутність складного устаткування, рухомих деталей чи інших вузлів, матеріалів, які періодично потребують заміни чи примусової регенерації, при одночасному збереженні такого самого або більш високого рівня потужності роботи системи загалом та істотно нижчих цін [24-26].

Біологічні особливості вирощування об'єктів стосовно умов УЗВ. Оцінка загальної ситуації стану рибництва, дають змогу загалом охарактеризувати і виділити групу перспективних об'єктів для вирощування в УЗВ.

Короп (Cyprinus carpio). Температурний оптимум для росту і використання комбікормів 26-28 град, (близький до оптимуму функціонування біоценозів 28-30 град.), чутливість до кисню без шкоди

досягненню продуктивних показників - не менше ніж 5 мг/л, використання комбікормів із вмістом протеїну не менше ніж 25% для отримання витрат корму від 0,6 до 1,5 і термінів отримання товарної продукції за 5-6 місяців, поліциклічний характер отримання статевих продуктів, хороша чуйність до гіпофізарних ін'єкцій та індустріальних методів вирощування за умови забезпечення щільності посадки в садках і басейнах понад 100 кг/м³. Особливих вимог до конструкції ємностей не виявлено, рівномірно використовують весь обсяг басейнів [25-27].

Форель (Oncorhynchus mykiss). Оптимальна температура для росту і накопичення продукції 14-18 град., задовільні показники забезпечуються в діапазоні температур 7-20 град.

Проте на нижній межі практично не працює система біологічного очищення води і доцільне використання сорбентних типів фільтрів, а на верхній межі збільшуються вимоги до кисневого режиму води, що надходить. Бажані концентрації кисню - 9-11 (не менше 7) мг/л, летальна концентрація становить 1,5-2,5 мг/л [28-29].

Чутлива до вмісту вуглекислоти у воді. За її концентрацій, вищих за 10 мг/л, спостерігаються ознаки погіршення обміну та росту, за концентрації понад 30 мг/л - кисневого голодування, порушення рівноваги та задуха. Вимоглива до показників органічного забруднення, вмісту токсичних речовин (мідь, цинк, хлор тощо).

Відносно легко переносить солоність води до 5- 35‰ залежно від віку риби. Можливі щільності посадки - до 70-100 кг/м³ і більше [30-31].

Можливе проходження всіх технологічних стадій поліциклічного виробництва в УЗВ. Для годівлі необхідні корми відповідної якості. Рецептури кормів, зважаючи на традиційність форелі як об'єкта індустріального рибництва, достатньою мірою розроблені для всіх етапів вирощування. Рівень витрат корму - від 0.6 до 1-1.5.

Американський сом (Ameiurus nebulosus). Оптимальна температура вирощування - 25-30 град, що також робить об'єкт бажаним для вирощування в системах з біологічним очищенням [23-26].

Вміст кисню - не менше 5 мг/л, порівняно добре переносить низький вміст кисню. Мешкає як у прісній, так і в солоній воді. Розроблено рецептури комбікормів для індустріального вирощування.

Особливості об'єкта - чуйне ставлення до зміни чинників середовища (температура, якість корму та ін.), що виражається в явищі канібалізму. Бажано використання площинних басейнів із глибиною не більше 1.5 м.

Усі стадії повноциклічного виробництва здійсненні в індустріальних умовах, є певні складнощі під час отримання статевих продуктів заводським способом [26-27].

Осетрові риби (Acipenseridae). Оптимальна температура залежно від виду і віку може перебувати в межах 18-24 град. Чутливі до вмісту кисню - найкращі показники розвитку і росту досягаються за концентрації кисню не менше 5-6 мг/л.

Вирощуються в басейнах з плоским дном, розрахунок посадки зазвичай проводиться на одиницю площі рибоводних ємностей. Освоєно заводське відтворення [1-3].

У низці господарств утримується маточне стадо 2-4 покоління. Розроблено рецептури комбікормів на всіх стадіях технологічного циклу. Є можливості організації поліциклічного відтворення для отримання вихідного матеріалу і товарної продукції.

Африканський сом (Ciarlas garlephus). Адаптований до культурних умов з оптимальними температурами для росту 20-32 град., летальними межами - нижче 14-15 град. Володіє органами повітряного дихання і тому може існувати за мінімальної концентрації кисню при щільності посадки до 300-400 кг/м² і більше. Швидкозростаюча риба, товарної маси досягає у віці 6-8 місяців [4-9].

Успішно вирощується на комбікормах осетрового, форелевого ряду, а також на кормах із нижчим вмістом протеїну, освоєно заводський метод отримання потомства.

Африканський сом має цінні смакові якості. Швидке зростання, максимальні щільності посадки, менша вимогливість до якості комбікормів порівняно з осетровими і лососевими рибами та інші причини роблять вид вельми цікавим для високоінтенсивних спеціалізованих рибницьких комплексів [22-23].

Вугор (Anguilla Anguilla). Сприятливі температури для життєзростання 18-22 град., проте для інтенсивного культивування температурний оптимум становить 25-26 град.

Вміст кисню при цьому не повинен опускатися нижче 4-5 мг/л, витримує зниження концентрації кисню у воді до 0,8 мг/л. У світовій системі аквакультури розроблено комбікорми для годівлі на всіх стадіях в умовах індустріального вирощування [16-18].

Основні недоліки об'єкта: повільне зростання (150-200 г досягається не менше ніж за 1 рік) і відсутність можливості в даний час отримання посадкового матеріалу в регульованих умовах рибницьких господарств. Посадковий матеріал у вигляді склоподібного вугра добувають промисловим способом, накопичують і надалі використовують для цілей інтенсивного вирощування або зариблення природних водойм для відновлення їхніх запасів.

Ракоподібні (раки, креветки). Оптимальна температура залежно від виду становить для раків 18-25 град., для креветки - 28-30 град. Об'єкти чутливі до якості води і вмісту кисню [20-21].

Головною особливістю ракоподібних можна вважати канібалізм, який особливо загострюється під час линьки, що робить практично неможливим інтенсивне вирощування ракоподібних за високих щільностей посадки в індустріальних умовах.

Тому ці види цікаві для індустріальної культури як джерело підрощеної молоді, отриманої у поза сезонні терміни, для подальшого вирощування в природних водоймах за наявності відповідних температурних, кормових та інших умов.

Вузьким технологічним моментом для гігантської креветки є підрощування личинок на планктонній стадії, яка повністю проходить у воді за стабільних умов за температурою та її якістю [22-25].

Рослиноїдні риби (Чорний амур, Веслонос). Цю групу видів, незважаючи на абсолютно різну приналежність і біологічні особливості, в технологічному плані можна об'єднати за труднощами формування і вирощування маточних стад в індустріальних умовах, особливо в умовах УЗВ за повної відсутності будь-якої природної їжі [23-25].

Тому можливості застосування УЗВ для культивування цих видів зазвичай можна обмежити утриманням зрілих плідників цих видів зазвичай можна обмежити утриманням зрілих плідників, етапами інкубації або отримання потомства, підрощування життєстійкої молоді для випуску в природні водойми або інші типи рибницьких господарств.

Оптимальні температури вирощування, особливості годівлі та специфіка рецептур комбікормів, як правило, визначаються біологічними потребами видів, при цьому відрізняються за ступенем розробки. Особливості технологічних режимів вирощування цих видів наведено більш повно у відповідних підрозділах цього розділу [22-23].

Якість водного середовища при вирощуванні риби в УЗВ. Характеристика якості водного середовища - важливої складової частини будь-якої технології, стосовно замкнених систем ще більше зростає, оскільки саме показники якості води є прикордонними в точці дотику процесів очищення води в УЗВ і технологічного процесу вирощування риби. Точність визначення параметрів водного середовища і можливість управління ними багато в чому можуть визначати загальну продуктивність установок у розрахунку на кінцеву продукцію риби [20-25].

Основні показники, що визначають якість водного середовища та їхні норми, наведено в таблиці 2.2.

У таблиці 2.2 технологічну норму щодо нітритів і вільного аміаку вказано для молоді. Товарна риба без видимих наслідків витримує і більші навантаження: до 0,5-1,0 мгN/л для нітритів і до 0,1 мгN/л для вільного аміаку.

Придатна вода із жорсткістю 3-10 мг-екв./л. Однак жорстка вода краща. У ній завдяки високій забуферованості більш стабільний рН; у жорсткій воді знижена токсичність багатьох речовин [12-14].

Таблиця 2.2 – Норми якості води під час вирощування риби в УЗВ

Показники	ОСТ для води, що надходить	Технологічні норми	Короткочасно допустимі значення
Завислі речовини, мг/л	до 10	до 30	-
рН	7,0-8,0	6,8-7,2	6,5-8,5
Нітрити, мгN/л	до 0,02	до 0,1-0,2	до 1,0
Нітрати, мгN/л	2-3	до 60	100
Амонійний азот, мгN/л	1,0	2-4	до 10
Аміак вільний, мгN/л	до 0,05	до 0,05	до 0,1
Окислюваність біхроматна, мгO/л	до 30	20-60	70-100
Окислюваність перманганатна, мгO/л	до 10	10-15	до 40
Кисень, мгO ₂ /л:			
на виході з рибоводних басейнів	-	5-12	2-3
на виході з біофільтра	-	4-8	не менше 2

Хімічні та фізико-хімічні показники, за якими необхідний постійний контроль, охоплюють параметри, що визначають ефективність роботи біофільтра і життєво важливі для вирощування риби [16-18].

Частота визначень різних показників залежить від значущості, швидкості трансформації або ступеня накопичення. При визначенні показників слід користуватися стандартними методиками [10-12].

Постійний контроль необхідний за такими показниками:

1. *Вміст кисню*. Вимірювання проводять за допомогою кисневого датчика або методом Вінклера:

- а) у рибоводних басейнах через дві години;
- б) на біофільтрі - один раз на добу.

2. *pH водного середовища*. Вимірюють на рН-метрі будь-якого типу не рідше трьох разів на тиждень.

У разі використання сильних лугів або кислот слід користуватися 2-10%-ними розчинами, додаючи їх крапельним методом і суворо спостерігаючи за рН. При цьому зміна рН не більше ніж 0,5 одиниць за добу.

Рецептура комбікормів і схема їх використання. Для успішної експлуатації замкнутих систем необхідно використовувати високоякісні повноцінні корми, які містять усі необхідні поживні речовини в певних пропорціях, що забезпечують задоволення потреб швидкозростаючої риби [2].

Вирощування риби в УЗВ за відсутності природної їжі, високих густот і темпу зростання видів, що розводяться, у присутності біоценозу бактерій (що бере участь в очищенні оборотної води), висуває особливі вимоги до якості кормів для риби, а також системи їхнього застосування загалом, які можна звести до двох основних позицій:

- ✓ Комбікорми повинні повністю задовольняти потреби об'єктів, що швидко ростуть, мати підвищену засвоюваність і відповідну насиченість вітамінами та іншими біологічно активними речовинами, доступ яких у замкнутій системі для риби максимально обмежений;

- ✓ Забезпечувати мінімальне надходження в систему забруднень у вигляді залишків корму та екскрементів, а також не містити будь-яких токсинів або збудників хвороби [3-6].

Нині достатньою мірою розроблено повноцінні гранульовані корми та основні положення технології їх застосування практично для всіх основних об'єктів з урахуванням їхнього віку, які широко використовують у вітчизняному індустріальному рибництві.

Стандартна схема вибору комбікормів у рамках технології вирощування риби в УЗВ містила в собі послідовні етапи: попередньої оцінки відповідності комбікормів вимогам, які ставлять перед ними культивовані види риб; подальшого практичного застосування цих кормів в експериментах або під час виробничого вирощування тих чи інших об'єкт [12-15].

До головних особливостей нової технології, що відрізняє її від відомих індустріальних методів для садків і басейнів, можна зарахувати вищу інтенсивність вирощування риби, особливо молоді.

Тривалість між етапами становить 20-25 діб. Саме з такою періодичністю доцільно здійснити сортування молоді риби для забезпечення більш високих результатів вирощування та нормальної виживаності риби. Швидкість росту відокремленої дрібної риби надалі може перевищувати показники росту великої групи [6-9].

У частині складання рецептур комбікормів вітчизняні аналоги перебувають на відповідному високому рівні. Основні проблеми виникають при використанні недоброякісної сировини у виготовленні комбікормів (табл. 2.3).

Успішне застосування комбікормів у системі УЗВ забезпечує використання кормосумішей із вмістом сирого протеїну від 35 до 60 % (відповідно для коропа, африканського сома, тіляпії та лососевих, осетрових риб), вмісту жиру від 10 до 22 % (максимальне значення вказано для вугра, форелі), вуглеводів - до 50 % (залежно від виду - максимальне значення для

коропа). До складу кормів обов'язково мають входити мінерально-вітамінні премікси відповідного складу [6-8].

Таблиця 2.3 – Перелік основних рецептур комбікормів і типова схема їх застосування при вирощуванні різних видів риби в УЗВ

Найменування етапу	Тривалість, доба.	Вид і склад корму, рецептури
Підросування личинок і вирощування до 1г	до 10-15 до 20-30	Декапсульовані яйця <i>Artemia salina</i>
стартові комбікорми склад, %: сирий протеїн - 50-55, сирий жир - 8-17 Мінерально-вітамінний премікс		
Вирощування посадкового матеріалу	в залежності від виду	Склад кормів,%: сирий протеїн – до 55, сирий жир - до 20
Вирощування товарної риби	-	Склад кормів,%: сирий протеїн - 35-50, сирий жир - до 22

Протягом приблизно 40 днів, коли годівля молоді форелі велася комбікормами поліпшеної якості, забезпечувалися високі показники швидкості росту та оплати кормів - відповідно становить на етапах вирощування 0,07-0,09 за витрат корму 0,6-0,9 за варіантами, протягом декади змішаної годівлі під час привчання риби до комбікормів нової рецептури швидкості росту впали в 2 рази - до значень $C_w=0,04$ і витрат корму до 0,9-1,0, далі за нового корму швидкість росту знизилася до 0,02, а витрати корму відповідно зросли до 1,5 (табл. 2.4) [3].

Таблиця 2.4 – Зміна швидкості росту молоді форелі за використання комбікормів різної якості виготовлення

Період годівлі, доб.	Середня маса риби, кг		Cw, %	Витрати корму
	на початку	в кінці		
7	0,1±0,01	0,23±0,04	0,09±0,001	0,4
20	0,23±0,04	0,59±0,07	0,09±0,001	0,6
24	0,59±0,07	0,78±0,06	0,07±0,001	0,8
39	0,78±0,06	2,21±0,21	0,08±0,001	0,6
привчання до нового корму, змішана дієта				
64		6,10±0,32	0,04±0,001	1,0
годівля новим рецептом комбікорму				
75	6,10±0,32	7,60±0,34	0,02±0,001	1,5

Важливим моментом годування в умовах УЗВ, забезпеченої системою очищення води, є правильне визначення норм і режиму годування. Цілком зрозуміло, що надлишкова годівля швидко перевищить очисні можливості фільтрів і різко погіршить якість води, відповідно, умови вирощування риби, з іншого боку, недостатня годівля особливо гостро може проявитися на тлі високих температур вирощування за повної відсутності будь-якої їжі [6-10].

2.2 Розробка технологій культивування різних видів в установках із замкнутим циклом водозабезпечення

Розробка обладнання, визначення основних характеристик головних складових блоків біотехнології в керованих умовах замкнутих систем дають змогу впритул підійти до практичної реалізації у вигляді конкретних технологій виробництва й вирощування в УЗВ основних видів аквакультури

(короп, форель, осетрові, рослиноїдні риби тощо), а також інших, досить нетипових для вітчизняного індустріального рибництва об'єктів - тропічних видів (тіляпія, гігантська креветка, ракоподібні) та ракоподібних (раковини, ракоподібні), узятих за приблизні об'єкти для визначення можливих меж практичного застосування УЗВ, а й окрім цього цікавих у плані розроблення технологій для аборигенних видів регіональної іхтіофауни [12].

Вирощування каналного сома в УЗВ. Індустріальні методи вирощування каналного сома в умовах тепловодних рибницьких господарств наразі розроблено в доволі повному обсязі й широко поширено [1-3].

Так, при вирощуванні в УЗВ посадкового матеріалу американського сома порівняно з традиційною технологією забезпечуються вищі посадки риби на етапах отримання молоді масою 100 мг, 1 і 5 г, відповідно, за більшого виходу посадкового матеріалу з одиниці об'єму води (табл. 2.5).

Вирощування товарного сома проводяться при температурі 25-27 град, і вмісті кисню у воді більше 6-7 мг/л, годівлі комбікормами [3-4].

Таблиця 2.5 – Порівняльні показники щільності утримання молоді каналного сома при вирощуванні в УЗВ і в умовах садкових господарств (температура 25-27 град., вміст кисню > 6-7 мг/л)

Етапи вирощування	Щільність риби, тис. шт. / м ³ - кг / м ³	
	УЗВ	садки-басейни
до 100 мг	80-100	30
до 1 г	30-18	4-5
до 5 г	10-40	10-12
до 20 г	20-60	15-20

Застосування розробленого технологічного регламенту вирощування каналъного сома в УЗВ, передбачає:

- вирощування молоді до маси 100 мг (щільність 80 тис. шт./м³) - 8-10 діб;
- до маси 1 г (щільність 30-40 тис. шт./м³) - 30 діб,
- до маси 5-7 г (щільність 16 тис. шт./м³) - 40 діб,
- до маси 25 г (щільність 6 тис. шт./м³) - 35 діб.

За штучного виходу по етапах 90-95% отримання товарної маси сома в 400-450 г здійснюється за 160-180 діб. При виходу товарної продукції до 100 кг/год. за один рік, а не в дворічному віці, як передбачено існуючими нормативами [3-8].

Технологія вирощування форелі. Технологія вирощування форелі в УЗВ містить у собі такі основні елементи:

- вирощування ремонту і виробників;
- отримання статевих продуктів;
- інкубація ікри та витримування вільних ембріонів;
- підрощування личинок і молоді;
- вирощування посадкового матеріалу різних вагових кондицій.

Стабілізація умов в УЗВ забезпечує високі показники темпу зростання риб і одержуваної продуктивності практично на всіх етапах вирощування.

Підрощування личинок рослиноїдних риб. Технологія заснована на загальних принципах вирощування риби в УЗВ: використовуються типові установки з блоком біологічного очищення БО-20; забезпечуються основні параметри якості водного середовища, методу годівлі та рецептури комбікормів. Доповнення в технологію введено з урахуванням особливостей вирощування об'єктів [11-15].

Для чорного амура годівлю проводять з першого дня посадки сирими яйцями артемії з подальшим переходом на штучні корми за схемою годівлі личинок коропа.

Підрощування личинок до маси 10-20 мг. Підрощування проводять за температури води 26-28 град, щільності посадки 150-200 тис. шт./м³ у лотках.

При цьому водообмін повинен забезпечувати якість води в рибницьких ємностях у межах установлених норм. Вміст розчиненого у воді кисню на виток має бути не менше 5 мг/л. Небажаним є перенасичення води киснем у перші 5 діб, оскільки молодь перорально поглинає бульбашки і втрачає здатність плавати [13-14].

Вирощування молоді веслоноса. Технологія призначена для отримання життєстійкого посадкового матеріалу веслоноса і зариблення підрощеною молоддю природних водойм і ставкових господарств [18-20].

Розроблена технологія містить у собі послідовні етапи: інкубацію і витримування личинок, поетапне підрощування до 80, 300, 450 і 1000 мг. Загальний період підрощування до маси 1 г триває 40-45 діб. Освоєння технології вирощування молоді веслоноса в УЗВ також здійснено із застосуванням загальних технологічних принципів вирощування об'єктів аквакультури в УЗВ.

Результати вирощування від стадії ікри до молоді масою 1 г створюють хороші передумови для введення веслоноса в систему пасовищного і ставкового вирощування [5-6].

2.3 Узагальнення та класифікація технологій вирощування різних видів риб в УЗВ

Розроблені технології по всіх об'єктах (зокрема в узагальненій за основними видами, представлені в табл. 50) забезпечують прискорення росту і дозрівання риб, які в 1,5-3 рази перевищують показники методів рибництва, що застосовуються у відкритих системах. У прикладному плані це виражається у позасезонному отриманні якісного посадкового матеріалу, що

поставляється в необхідні терміни (за всіма видами), мінімально коротких термінах отримання товарної риби [12-16].

Для ставків це виражається в більш ранньому початку облову, так звані селективні улови, коли за високих густин посадки здійснюватиметься добір риби, що досягає товарної маси для того, щоб, забезпечивши розрідження посадки, стимулювати ріст риб наступної вагової категорії. Забезпеченість кормом на ранньому етапі надзвичайно важлива, і хоча канібалізм у рослиноїдних риб може бути відсутнім, але може бути дуже великий розкид за масою (табл. 2.6).

Таблиця 2.6 – Основні показники технологій вирощування різних видів риб в УЗВ

Показники	Короп	Стерлядь	Осетр	Форель	Сом
Дозрівання, роки	1,5-2	2,5-3	4-5	1,5	1,5-2
Вирощування посадкового матеріалу					
до 1 г:					
температура, °С	24-26	20-24	22-24	14-18	25-26
вихід, %	70	70	70	70-80	70
щільність, шт/м ³	25-30	10-25	15-25	8-12	10-15
вихід, кг/м ³	25-30	10-25	15-25	8-12	10-15
час, доба	30	25	20-25	40	35
витрата корму	0,6-1	0,8-1,2	0,8-1	0,8-1	1,5
до 50 г:					
вихід, %	90	80	80	70-80	80
вихід, кг/м ³	50-70	35-60	35-60	30-40	25-40
час, доба	60	60	40	100	80
витрата корму	1,5-2	1,5-2,5	1,5-2	1-1,5	2,0-3
Вирощування до товарної маси					

Продовження таблиці 2.6					
вихід, %	-	-	90-95	-	-
вихід, кг/м ³	100-120	70-100	80-100	-	-
час, доба	90-120	180-200	-	-	-
витрата корму	1,5-2	1,5-3	1,5-3	-	-

У південних регіонах поліцикл здійснюється для дворазового знімання риби в системі вирощування посадкового матеріалу комбінованими методами, наприклад, під час підрощування личинок і подальшого використання цих самих обсягів для вирощування цьоголіток [23-25].

Застосування УЗВ для вирощування риби змушує розглядати час як технологічний фактор, що має якісно новий зміст. Використання цього фактору в керованих умовах середовища в УЗВ дає змогу реально підійти до організації цілорічного виробництва рибної продукції в режимі поліциклу.

Під поняттям поліциклічного виробництва або поліциклу, згідно з існуючим трактуванням терміну в рибництві, зазвичай розуміють поступове багаторазове знімання риби з одних і тих самих виробничих площ або обсягів із метою раціональнішого їх використання [20-22].

Своєю чергою, досягнення рівномірного та цілорічного постачання різних категорій рибної продукції в живому вигляді виявляється принципово можливим на основі управління термінами отримання статевих продуктів від виробників, розроблення способів їх багаторазового використання, регулювання часу інкубації ікри, вирощування посадкового матеріалу і товарної риби, використання в якості об'єктів культивування порційно-нерестуючих риб або використання методів зміщеного нересту [13-16].

Поліциклічне виробництво риби передбачає періодичне вилучення товарної продукції та поповнення її відповідною кількістю посадкового матеріалу.

Товарну рибу вирощують від 50 до 425 г в установці, що включає 8 басейнів. Раціональне вивантаження цілого числа басейнів - 2 шт. одночасно. Черговість вивантаження кожних двох басейнів настає через 4 рівних етапи часу. Тривалість кожного етапу дорівнює частці від ділення всього періоду вирощування риби на кількість етапів. Відповідно для описуваної системи інтервал дорівнює - 140 (час вирощування до товарної маси); $4 = 35$ діб [10].

Вирощування посадкового матеріалу від личинки до маси 50 г займає близько 140 діб, тобто також укладається в рамки 4-х етапів по 35 діб [23].

Практичне освоєння розроблених біотехнологій дає змогу класифікувати їх відповідно до цілей використання, а також визначити перспективу освоєння вивчених видів, пов'язану:

- ✓ з повноцикловим виробництвом в УЗВ коропа, каналного сома, форелі, тіляпії, осетрових для позасезонного отримання товарної продукції та посадкового матеріалу високої якості для подальшого вирощування комбінованими методами, а також для відновлення біоресурсів водойм. При цьому можливе повністю автономне виробництво ікри, посадкового матеріалу всіх кондицій, товарної продукції, маточного поголів'я риб;
- ✓ з виробництвом посадкового матеріалу з ікри, що привозиться, або личинок - рослиноїдних риб, чорного амура, веслоноса, рака, для отримання життєстійкої молоді та зариблення ставків, водойм під час освоєння нових регіонів та швидкого відновлення поголів'я даних видів у природних водоймах, а також з метою підвищення стабільності традиційних технологій та промповнення; види продукції: якісний та крупний посадковий матеріал даних видів, з метою підвищення інтенсифікації та стабільності виробництва традиційними методами, з метою підвищення інтенсифікації та стабільності виробництва;
- ✓ з вирощуванням нових видів, які не можуть існувати в природних умовах, але можуть бути використані для освоєння в рамках

аквакультури, а також створення колекцій і збереження рідкісних видів у самовідтворюваних популяціях у штучно створюваних умовах;

- ✓ з виробництвом товарної продукції цінних видів або якісного посадкового матеріалу (вугор) для випуску нових видів товарної продукції в максимальному наближенні до споживача [19].

Розроблені технологічні принципи, структура й основні параметри складових частин технології вирощування об'єктів в УЗВ: інженеринг, обладнання, контроль і норми якості водного середовища, температурний і технологічний режими з урахуванням особливостей об'єктів, система годівлі і профілактики захворювань дозволять реалізувати технологію вирощування об'єктів в УЗВ [18].

Застосування розроблених технологій забезпечують майже по всіх розглянутих об'єктах при їх нормальному фізіологічному стані:

- прискорення зростання у 1,5-3 рази порівняно з аналогічними показниками при традиційних способах вирощування в відкритих системах;
- прискорене дозрівання виробників (карпа, канального сома та тіляпії - за 1-1,5, стерляді - 2,5-3 роки і т.п.);
- мінімально короткі терміни одержання товарної риби (коропа за півроку, осетрових за рік тощо) та організацію поліциклу при можливій кратності нересту для коропа до 6 разів на рік, канального сома та стерляді - до 2 разів на рік і т.п.
- поза сезонне отримання якісного посадкового матеріалу, що поставляється в необхідні терміни [13-16].

3 ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АКВАКУЛЬТУРИ НА БАЗІ ВИКОРИСТАННЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ

Ефективність застосування замкнутих систем у рамках традиційного рибництва забезпечується за рахунок таких технологічних переваг УЗВ:

1) Можливості створення умов вирощування, в яких забезпечується максимальний ріст і темп накопичення продукції практично будь-яких видів, що розводяться.

2) Забезпечення повного контролю та управління виробничим процесом незалежно від зовнішніх умов при збереженні іхтіопатологічної та екологічної чистоти виробництва завдяки вирощуванню риби в одному й тому самому об'ємі води із застосуванням системи повного очищення та регенерації якості води до вихідного рівня.

3) Виробництво посадкового матеріалу необхідної якості у найзручніші строки для пересадки у водойми та вирощування необхідного асортименту продукції [14-16].

Своєю чергою, зазначені переваги УЗВ на практиці дають змогу:

- перенести під повний контроль і в оптимальні умови найбільш вузькі та відповідальні моменти у виробництві риби;

- створювати гарантований запас високоякісного посадкового матеріалу необхідних кондицій і в необхідні терміни;

- форсувати зростання об'єктів, що розводяться, скорочувати терміни отримання товарної продукції, особливо для цінних видів, і збільшувати показники рибопродуктивності при подальшому вирощуванні;

- звільняти рибоводні площі, які займали раніше під вирощування посадкового матеріалу та його зимівлю, їх подальше використання для отримання додаткової товарної продукції;

- сприяти підвищенню стійкості та зниженню захворюваності вирощуваних об'єктів завдяки вирощуванню посадкового матеріалу високої

якості в контрольованих умовах замкнутих систем, його пересаджування в нагульні водойми в строки, оптимальні для росту і використання природної кормової бази і швидке відновлення поголів'я аборигенних видів [18].

Теоретичні та практичні розробки в галузі технічного оснащення дають змогу моделювати і створювати установки будь-якого типу та потужності – від невеликих модулів до великих промислових повносистемних господарств. Тим самим відкривається широкий діапазон для застосування УЗВ - від масштабів фермерських господарств до великих промислових комплексів. Зокрема, на рівні фермерських господарств придатні невеликі установки на 4-6 м³ води, що дають змогу виробити 10 - 30 тис. рибопосадкового матеріалу в обсягах, необхідних фермерським господарствам за виробництва 15-20 т товарної риби на рік [20-21]. Своєчасне зариблення ставків чи інших водойм своїм посадковим матеріалом дасть змогу уникнути витрат на його придбання, перевезення, зимівлю тощо.

Ефективність застосування традиційних методів рибництва, відповідно передбачають і вищий рівень організації процесів, що протікають у замкнутих системах, які забезпечують отримання кращих рибницьких показників [23-25].

До однієї з переваг індустріальних методів аквакультури із застосуванням УЗВ належить можливість здійснення відтворення не тільки традиційних об'єктів промислового рибництва, а й місцевих видів з метою прискореного відновлення природної іхтіофауни (або, наприклад, раків) природних водойм у місцях традиційного промислу, які з якихось причин втратили це значення [13-15].

Управління виробничим процесом вирощування риби за допомогою введення циклу отримання якісного посадкового матеріалу в УЗВ дає змогу одержувати товарну продукцію з меншими витратами в більш стислі строки за одночасного збереження екологічної чистоти довкілля. Загалом це може дозволити вирішувати будь-які проблеми сучасної аквакультури на новому якісному рівні [10-12].

3.1 Методика оптимальних систем аквакультури

Поєднання різних форм аквакультури значно збільшує у зв'язок з великою різноманітністю об'єктів вирощування та їхнього віку - від підрощування личинок до утримання плідників. При такій великій кількості технологій біологічне та економічне обґрунтування будь-якого їх поєднання для конкретного регіону неможливе без використання ЕОМ . Також необхідно враховувати екологічні особливості регіону, сформовану інфраструктуру (транспортні зв'язки, наявність джерел енергії, води тощо) і характеристики ринку (обсяг попиту і рівень цін) [13].

Розроблена регіональна система аквакультури передбачає такі етапи:

- вибір регіону і постановку завдання;
- збір інформації про наявність і використання водних ресурсів, їх характеристика та групування;
- збір інформації про наявність матеріальних, енергетичних і фінансових ресурсів та встановлення обмежень щодо їх використання;
- розв'язання задачі про вибір об'єктів вселення в природні водойми;
- ознайомлення з типовими технологіями вирощування риби, представленими в базі даних методики;
- збір інформації про наявні та альтернативні технології вирощування риби в регіоні, про ємність ринку, ціни і можливі витрати на реалізацію;
- підготовку і введення інформації в ЕОМ, уточнення критерію оптимізації та обмежень.
- розрахунок оптимальної системи аквакультури в регіоні відповідно до обраного критерію (відповідно до алгоритму);

Комплекс водойм регіону з його фізико-географічними, біологічними та економічними особливостями є складною системою. Такі системи характеризуються великим числом змінних з наявністю зворотних зв'язків,

часових затримок, нелінійних залежностей і навіть розривів. Рівняння, що описують таку систему, як правило, не мають аналітичного рішення. Тут з успіхом можуть використовуватися системний аналіз та імітаційне математичне моделювання, що дає можливість прогнозувати стан системи й ефективно нею керувати [19-21].

3.2 Сучасне положення замкнених установок у рибогосподарській структурі

Контрольовані умови під час вирощування риби в УЗВ, що забезпечують у цьому разі максимально стислі терміни отримання товарної продукції, наприклад, щодо осетра - один рік до товару, 1-4 місяці до посадкового матеріалу масою 1-3-50-100 г, прискорене дозрівання плідників, поза сезонне одержання потомства, роблять УЗВ незамінним елементом не тільки в системі товарного осетрівництва, а й відтворення запасів цих цінних видів риби [21-23].

Утримання маточних стад осетрових на подібних індустріальних комплексах за налагодженої технології одночасного виробництва товарної продукції є більш технологічним порівняно з будь-якими іншими формами господарств [23-26].

З огляду на досить високу плодючість видів, що розводяться, і відносно невелику кількість посадкового матеріалу, необхідного для власних потреб, доцільно використовувати виробничий потенціал УЗВ для зариблення природних і штучно створюваних водойм, а самі господарства розглядати як основу для формування баз відтворення цих видів риби. Організаційно цей момент наразі абсолютно не опрацьовано і він виходить за рамки компетенції рибницьких підприємств [28-30].

За виробництвом різних видів рибної продукції, в кінцевому підсумку, охоплюють три найважливіші складові частини товарного рибництва:

- збільшення виробництва цінних видів риб;
- створення сучасної відтворювальної бази;
- збільшення і гарантія якості посадкового матеріалу для цілей прискореного отримання товарної продукції масових видів.

Застосування УЗВ у загальній схемі сформованої системи виробництва риби дає змогу забезпечити швидке отримання товарної продукції, стабільність результатів. У цьому разі використовуються вже діючі УЗВ за умови виключення нових витрат на капітальне будівництво [31-32].

Переваги введення блоку рибництва у вигляді систем із замкнутим водозабезпеченням полягають у:

- у більш ефективному використанні енергії корму на одиницю готової продукції порівняно з іншими галузями сільського господарства;
- можливості відновлення та збільшення рибних запасів природних і рибоводних водойм у разі вирощування рибопосадкового матеріалу;
- урізноманітнення асортименту білкової продукції в разі вирощування товарної риби.

Це забезпечується за рахунок:

- скорочення часу вирощування товарної риби в середньому на один рік (замість дворічного обороту ввести однорічний, відповідно замість трирічного - дворічний);
- поліпшення якості одержуваної продукції та продуктивності рибогосподарських водойм (повніше використання рибами їхньої кормової бази, ранні строки зариблення, оптимальні щільності посадки);
- забезпечення значної економії ресурсів (щодо води, площ водойм, землі, кормів тощо);
- виключення більшості хвороб, що зазвичай виникають при інтенсивному вирощуванні риби традиційними методами (використання

- великого посадкового матеріалу і більш розріджена щільність посадки риби в початковий період вирощування) і підвищення рівня виживаності видів, що розводяться [32-33].

Закриті циркуляційні системи щодо способів використання води мають свої переваги та недоліки. Основними особливостями порівняно з іншими способами є незначна витрата води, автономність виробництва, незалежність від навколишніх умов і, відповідно, відсутність шкідливого впливу на них. Попадання отруйних речовин у споруду може бути скорочено до мінімуму, знижується небезпека впровадження паразитів і патогенних мікроорганізмів.

Подібні системи відносно незалежні від енергетичної бази, шляхів сполучення і займають невелику земельну площу, але водночас для обслуговування їх потрібно більше кваліфікованого персоналу [22-23].

Техніко-економічного обґрунтування ефективності введення УЗВ у ті чи інші системи вирощування риби і виробництва тваринного білка свідчать про практичну можливість та економічну доцільність реалізації розглянутих варіантів використання УЗВ.

Крім забезпечення економічного ефекту, під час вирощування риби в УЗВ забезпечуються і соціальні переваги, які важко врахувати під час техніко-економічних обґрунтувань: принципово інший зв'язок між виробництвом риби та навколишнім середовищем, можливість будівництва комплексів у промислових центрах будь-якої кліматичної зони, гарантії збереження довкілля та ін [22-26].

Новий тип виробництва риби одночасно дає змогу формувати якісно інший тип товарної продукції підвищеної екологічної захищеності.

Реалізація розроблених прийомів і методів розвитку аквакультури шляхом застосування УЗВ дає змогу загалом обґрунтувати і реально забезпечити підвищення ефективності рибництва в цілому [27-28].

ВИСНОВКИ

Перспектива розвитку аквакультури має бути тісно пов'язана з використанням нових інтенсивних технологій, зокрема технологій виробництва високоякісного посадкового матеріалу. Технології виробництва посадкового матеріалу мають забезпечити обсяг, якість, але найважливіше, асортимент продукції. Перспективи розвитку аквакультури пов'язані не стільки з відновленням обсягів виробництва продукції в ставкових господарствах, але скоріш за все з освоєнням акваторій озер та водосховищ, запровадженням рибоводної меліорації на водоймах-охолоджувачах, розвитком рекреаційного, спортивного та аматорського рибальства. Найбільш реальний шлях досягнення позначених цілей може бути пов'язаний із введенням у системи аквакультури установок із замкнутим циклом водозабезпечення, які дозволяють керувати умовами вирощування, контролювати основні параметри середовища.

При створенні математичної моделі УЗВ послідовно вивчають та отримують нові дані щодо характеристики інтенсивності виділення метаболітів рибами, що вирощуються в умовах УЗВ, пов'язати їх з кінетикою процесів перетворення та видалення забруднень при проходженні оборотної води по різних блоках та очищення рециркуляційних систем, створені рибоводні установки з регульованими умовами середовища, що відповідають усім вимогам промислового вирощування різних об'єктів аквакультури, які не поступаються міжнародним стандартам.

Розрахунок математичної моделі замкнутих систем, розробка на цій основі технічного обладнання, кількісний опис процесів, що відбуваються в УЗВ, дають змогу запропонувати методику розрахунку й обґрунтування продуктивності замкнутих установок для вирощування різних об'єктів.

Проаналізовано особливості вирощування різних об'єктів в УЗВ, охарактеризовано якість водного середовища, визначено основні вимоги до комбікормів, причини та умови виникнення захворювань, можливі способи їх

запобігання тощо. Загалом це дозволяє дати повну характеристику рибоводних УЗВ, пов'язаних із розробкою конкретних технологій.

Для визначення кількісних показників інтенсивності виділення загальних та азотних забруднень залежно від маси риб, що вирощуються в УЗВ, і температури води, а також кількісної характеристики процесів кінетики видалення метаболітів у системі біологічного очищення оборотної води розробляють модель замкнутих систем, яка оформлена у вигляді системи рівнянь і дозволяє прогнозувати воду у будь-який момент часу та місці УЗВ.

Ефективність роботи біофільтрів з очищення оборотної води від загальних забруднень знижується зі збільшенням солоності до 12‰ на 10-15%, при 24‰ - на 25-30%, при 36‰ - на 40-45% порівняно з прісною водою при одночасному зниженні вилучення амонійного азоту на 5-8, 10 та 20 %.

Застосування розроблених технологій забезпечують майже по всіх розглянутих об'єктах при їх нормальному фізіологічному стані:

- прискорення зростання у 1,5-3 рази порівняно з аналогічними показниками при традиційних способах вирощування в відкритих системах;
- прискорене дозрівання виробників (карпа, канального сома та тіляпії - за 1-1,5, стерляді - 2,5-3 роки і т.п.);
- мінімально короткі терміни одержання товарної риби (коропа за півроку, осетрових за рік тощо) та організацію поліциклу при можливій кратності нересту для коропа до 6 разів на рік, канального сома та стерляді - до 2 разів на рік і т.п.
- поза сезонне отримання якісного посадкового матеріалу, що поставляється в необхідні терміни;

Техніко-економічного обґрунтування ефективності введення УЗВ у ті чи інші системи вирощування риби і виробництва тваринного білка свідчать про практичну можливість та економічну доцільність реалізації розглянутих варіантів використання УЗВ.

Крім забезпечення економічного ефекту, під час вирощування риби в УЗВ забезпечуються і соціальні переваги, які важко врахувати під час техніко-економічних обґрунтувань: принципово інший зв'язок між виробництвом риби та навколишнім середовищем, можливість будівництва комплексів у промислових центрах будь-якої кліматичної зони, гарантії збереження довкілля та ін.

Новий тип виробництва риби одночасно дає змогу формувати якісно інший тип товарної продукції підвищеної екологічної захищеності.

Реалізація розроблених прийомів і методів розвитку аквакультури шляхом застосування УЗВ дає змогу загалом обґрунтувати і реально забезпечити підвищення ефективності рибництва в цілому.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Шарило Ю. Є. Сучасна аквакультура: від теорії до практики: практичний посібник. Київ: «Простобук». 2016. 119 с.
2. Маменко О. М., Портянник С. В., Щербак О. В. Інноваційні технології в рибництві: навчальний посібник. Харків: РВВ Харківської державної зооветеринарної академії. 2017. 320 с.
3. Андрющенко А. І., Вовк Н. І. Аквакультура штучних водойм. Частина II. Індустріальна аквакультура: підручник. Київ. 2014. 586 с.
4. Шерман І. М., Євтушенко М. Ю. Теоретичні основи рибництва: підручник Київ, 2012. 484 с.
5. Щербак В.І. Інтегроване управління водними ресурсами: навчальний посібник. Київ, 2015. 379 с.
6. Гриневич Н.Є., Димань Т.М. Сезонні зміни гідрохімічних показників води за використання установок замкнутого водопостачання для вирощування райдужної форелі. *Науковий вісник БНАУ*. 2016. Вип. 2. С. 33–39.
7. Кіщак І. Т., Корнєва Н. О., Новіков О. Є. Стратегічні імперативи розвитку рибопродуктового комплексу держави. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2014. Вип. 3. С. 5-17.
8. Миськовець Н. П. Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку рибного господарства України. *Бізнес Інформ*. 2020. Вип. 3. С. 104–111.
9. Кононенко Р. В., Шевченко П. Г., Кондратюк В. М., Кононенко І. С. Інтенсивні технології в аквакультурі: навчальний посібник. Київ, 2016. 410 с.
10. Кононцев С. В. Біотехнологія очищення води при вирощуванні кларієвого сома в УЗВ. *Вода і водоочисні технології: Науково-технічні вісті*. 2016. Вип. 3 (20). С. 57-64.

11. Саблій Л. А. Очищення оборотної води УЗВ у біореакторі з похилими полицями. *Вісник інженерної академії України*. 2018. Вип. 1. С. 156-162.
12. Кононцев С. В. Комплексне очищення оборотної води УЗВ з використанням інтегрованих систем аквапоніки. *Вісник інженерної академії України*. 2018. Вип. 3. С. 171-176.
13. Кононцев С.В. Використання червононогих молюсків для мінералізації нерозчинених забруднень оборотної води УЗВ. *Вісник Хмельницького Національного Університету. Серія: Технічні науки*. 2018. Вип. 1. С. 193-198.
14. Кононцев С. Біотехнологія культивування кормових організмів у системі відновлення якості води рибницьких комплексів індустріального типу. *Біотехнологія: досвід, традиції та інновації: збірник наукових праць*. 2016. Київ: НУХТ. С. 84-91.
15. Белошапка, Т. Державний вплив на розвиток рибного господарства України: шляхи вдосконалення. *Актуальні проблеми державного управління*. 2018. Вип. 4. С. 24-28.
16. Гашков С. Рибне господарство України: проблеми та шляхи розвитку. *Фінансовий контроль*. 2012. Вип. 8 (79). С. 28–31.
17. Маменко О.М., Портянник С.В., Щербак О.В. Інноваційні технології в рибництві: підручник. Харків: РВВ Харківської державної зооветеринарної академії. 2017. 320 с.
18. Марценюк В.П. Досвід розведення та вирощування судака (*Sander luciperca*) за різних технологій. *Рибогосподарська наука України*. 2014. Вип. 3. С. 55-66.
19. Коваленко В.О. Шляхи оптимізації та прогнозування вирощування корошових видів риб в умовах Півдня України. *Рибогосподарська наука України*. 2014. Вип. 2. С. 46-54.
20. Чемерис В.А., Душка В.І., Максим В.Л. Стан та перспективи розвитку аквакультури в Україні. *Науковий вісник Львівського національного*

- університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. *Економічні науки*. 2016. Т. 18. № 2. С. 169–175.
21. Баль-Прилипко Л. В., Слива Ю. В. Науково-технічні засади систем управління якістю відповідно до міжнародних стандартів: навчальний посібник. Київ: Компрінт, 2019. 420 с.
22. Причепа Н.В. Вплив екологічних чинників водного середовища на морфофізіологічні показники судака та окуня. *Рибогосподарська наука України*. 2013. Вип. 4. С. 75-85.
23. Михальчишина Л., Синенок І. Стратегічні напрями розвитку аквакультури в Україні. *Біоекономіка та аграрний бізнес*. 2020. Т. 11. № 2. С. 72–85.
24. Кіщак І. Т., Корнєва Н. О., Новіков О. Є. Стратегічні імперативи розвитку рибопродуктового комплексу держави. *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2014. Вип. 3. С. 5–17.
25. Миськовець Н. П. Аналіз сучасного стану та перспективи розвитку рибного господарства України. *Бізнес Інформ*. 2020. № 3. С. 104–111.
26. Гриневич Н. Є. Особливості використання біофільтрів з різними типами наповнювача в установках замкнутого водопостачання в аквакультурі. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. Львів, 2016. Т. 18. № 3 (70). С. 57–61.
27. Гриневич Н.Є. Ідентифікація небезпечних чинників під час вирощування райдужної форелі в умовах замкнутого водопостачання. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького*. Львів, 2017. Т. 19. № 78. С. 48–52.
28. Konontsev S., Sablij L., Pylypenko Yu., Grokhovska Y., Kovalev Yu. Purification of RAS circulating water from Phosphorous compounds. *Acta Biol. Univ. Daugavp.* 2017. Vol. 17(2). P. 193-197.

- 29.Nilsen A., Nielsen K.V. Biering E. Effective protection against sea lice during the production of Atlantic salmon in floating enclosures. *Aquaculture*. 2017. P. 41-50.
- 30.Chu Y.I., Wang C.M. Park J.C. Review of cage and containment tank designs for offshore fish farming. *Aquaculture*. 2020. P. 734-928.
- 31.Helling K. Hausmann S. Clarke A. Experimentally Induced Motion Sickness in Fish. Possible Role of the Otolith Organs. *Acta Otolaryngol*. 2021. Vol. 123 (4). P. 488-492.
- 32.Cripps S., Bergheim A. Solids management and removal for intensive land-based aquaculture production. *Aquac Eng*.2019. Vol. 22(2). P. 33-56.
- 33.Guo H. Numerical simulation of separation process for enhancing fine particle removal in tertiary sedimentation tank mounting adjustable baffle. *Chem Eng Sci*. 2017.Vol. 8. P. 21-29.
- 34.Gorle J.M., Terjesen B.F., Holan A.B. Qualifying the design of a floating closed-containment fish farm using computational fluid dynamics. *Biosyst Eng*. 2018. Vol. 5. P. 63-81.
- 35.Balseiro P., Oyvind M. Comparison between Atlantic salmon *Salmo salar* post-smolts reared in open sea cages and in the Preline raceway semi-closed containment aquaculture system. *J Fish Biol*. 2018. Vol. 93(3). P. 567–579.
- 36.Olsen T.O. Fish Farming in Floating Structures. *WCFS2019*, Singapore. 2019. P. 191-208.
- 37.Setyo B.K. Assessing the effect of multiple variables on the production of bioflocculant by *Serratia marcescens*: Flocculating activity, kinetics, toxicity, and flocculation mechanism. *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 8. P. 12-22.
- 38.Bakar S.N. A review of the production process of bacteria-based polymeric flocculants. *Journal of water process engineering*. 2021. Vol. 40. P. 30-42.
- 39.Ahmad A. Plant-based versus metal-based coagulants in aquaculture wastewater treatment. *Journal of water process engineering*.2021. Vol. 43. P. 100-132.