



Co-funded by
the European Union



National University of Water
and Environmental
Engineering

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та
природокористування

Навчально-науковий інститут агроєкології та землеустрою
Кафедра водних біоресурсів

05-03-149М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни
«Рециркуляційна аквакультура»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Охорона, відтворення та
раціональне використання гідробіоресурсів»
спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура»
денної та заочної форми навчання

Рекомендовано
науково-методичною радою
з якості ННІАЗ
Протокол № 2 від 24.09.2024 р.

Рівне – 2024



Co-funded by
the European Union



National University of Water
and Environmental
Engineering

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Рециркуляційна аквакультура» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Охорона, відтворення та раціональне використання гідробіоресурсів» спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура» денної та заочної форми навчання. [Електронне видання] / Кононцев С. В. – Рівне : НУВГП, 2024. – 29 с.

Укладач: Кононцев Сергій Вікторович, д.т.н., доцент, професор кафедри водних біоресурсів.

Відповідальний за випуск: Полтавченко Т. В., к.вет.н., доцент, завідувачка кафедри водних біоресурсів.

Керівник групи забезпечення спеціальності 207

«Водні біоресурси та аквакультура»

Сондак В. В.

AFISHE «Development of Aquaculture and Fisheries Education for Green Deal in Armenia and Ukraine: from Education to Ecology»
<https://www.afishe.eu/>

Матеріали опубліковані як частина проекту ЄС, який фінансується за підтримки Європейської комісії. Ця публікація відображає погляди авторів і Європейська комісія не може нести відповідальності за використання будь-якої інформації, що тут міститься.

© С. В. Кононцев, 2024

© НУВГП, 2024

Зміст

Вступ. Мета і завдання навчальної дисципліни	4
Змістовний модуль 1. Теоретичні основи функціонування РАС	5
1. Розрахунок та підбір ємностей для вирощування об'єктів аквакультури на різних етапах.	5
2. Розрахунок водообміну у басейнах	8
3. Водогосподарський розрахунок у РАС	11
4. Системи терморегуляції водного контуру РАС	14
5. Споруди механічного очищення оборотної води РАС	16
6. Споруди біологічного очищення оборотної води	18
Змістовний модуль 2. Технології вирощування в РАС об'єктів аквакультури	21
7. Вирощування кларієвого сома в РАС	21
8. Вирощування тиліпій в РАС	22
9. Вирощування форелі в РАС	24
10. Вирощування ракоподібних в РАС	27
Рекомендована література	29

Вступ.

Дисципліна «Рециркуляційні аквакультурні системи» дозволяє майбутньому магістру освоїти найінтенсивніші технології аквакультури у високотехнологічних комплексах із замкнутою системою водозабезпечення. Перспективи розвитку рециркуляційної аквакультури в Україні пов'язані її найвищим рівнем екологічної безпеки та мінімальним впливом на навколишнє середовище порівняно з іншими напрямками рибництва. Оскільки технології рециркуляційної аквакультури характеризуються мінімальними питомими потребами у воді на одиницю вирощеної продукції, суттєво знижується залежність виробництва від водних ресурсів, з'являються умови для ефективного вирощування цінних об'єктів аквакультури. Метою даної дисципліни є формування знань з сучасних технологій вирощування об'єктів аквакультури у рециркульованих аквасистемах.

Цілі: 1. Розширити знання про інтенсивні технології в аквакультурі. 2. Сформувані навички з проектування аквакультурних систем з замкнутим циклом водозабезпечення, включаючи основні технологічні ємності, вузли автоматизованої годівлі, водопідготовки, очищення забрудненої води та контролю основних фізико-хімічних параметрів. 3. Ознайомити з перспективними об'єктами аквакультури та технологіями їх вирощування у рециркуляційних аквасистемах.

Практична робота № 1.

Розрахунок та підбір ємностей для вирощування об'єктів аквакультури у РАС

Мета: отримати навички з розрахунку необхідного об'єму для вирощування на різних етапах об'єктів аквакультури та підбору басейнів в РАС.

Теоретична частина. Підбір басейнів та розрахунок об'ємів ємностей для вирощування об'єктів аквакультури є основою проектування РАС. Окрім відмінностей у вимогах до фізико-хімічних показників води, різні види риб або нерибних об'єктів можуть мати потребу у особливостях гідравлічного режиму. Окрім того, ці вимоги можуть суттєво відрізнятись на різних етапах розвитку кожного виду. Тому у більшості випадків повносистемні РАС являють собою господарства з декількома групами басейнів, кожна з яких призначена для вирощування на певному технологічному етапі та забезпечує оптимальні умови саме для цього етапу.

Розрахунок басейнів здійснюється виходячи з розрахункової кількості особин (живої маси) об'єктів аквакультури та нормативної щільності посадки саме на даному етапі. Враховуючи те, що на окремих виробничих етапах жива маса може зрости у два і більше разів, визначення необхідного об'єму здійснюють виходячи з маси риб наприкінці даного етапу, а не за масою посадки на цей етап. Водночас, якщо нормативна щільність посадки приводиться в екземплярах на одиницю об'єму води, для розрахунку береться саме кількість екземплярів для посадки на даний етап. У процесі вирощування частина особин гине або відбраковується і ці процеси компенсують зростання біомаси та фактичне підвищення щільності посадки у даному басейні. Також окремі технології вирощування передбачають періодичне сортування з наступною розсадкою у різні ємності, що знижує рівень канібалізму при вирощуванні, дозволяє забезпечити раціональне використання кормів та рівномірний вихід продукції наприкінці вирощування. При виборі доцільно користуватись методичними рекомендаціями

щодо розведення та вирощування промислово цінних видів риб. Основні внутрішні розміри рибницьких ємностей позначено наступними літерами (у дужках - зовнішні): довжина – A (D); ширина – B (E); висота – C (F).

Хід роботи.

1. Ознайомлюються з нормативними показниками щільностей посадок для різних об'єктів аквакультури на різних етапах вирощування.

2. Вивчають рекомендації щодо правильного підбору басейнів в аспекті їх гідравлічного режиму та забезпечення найкращих умов для видалення з них нерозчинених забруднень.

3. Здійснюють розрахунок необхідного об'єму води для вирощування одного з об'єктів аквакультури на окремому технологічному етапі за заданими щільністю посадки в екз./л, кг/м³.

Розрахунок необхідного об'єму та кількості ємностей для вирощування риб на різних етапах розвитку здійснюється за нормативною щільністю посадки риб на одиницю площі або об'єму. Таким чином, необхідний загальний об'єм становитиме:

$$V_{заг} = n/k$$

де $V_{заг}$ - загальний об'єм басейнів, м³;

n – чисельність риб на певному технологічному етапі, екз. або кг;

k – нормативна щільність посадки риб у басейн, екз./м³ або кг/м³.

4. Визначають необхідну кількість басейнів на кожному окремому технологічному етапі вирощування. Необхідна кількість басейнів залежить від типу та об'єму запроєктованих до використання у господарстві басейнів:

$$N_{бас} = \frac{V_{заг}}{V}$$

де $N_{бас}$ – к-сть басейнів для вирощування на окремому етапі, шт;

V – об'єм басейну, призначеного для культивування певної вікової групи риб, m^3 .

Необхідна кількість інкубапаратів визначається виходячи із проектного завантаження ікрою даного виду риб одного інкубапарату.

$$N_{\text{інкуб}} = \frac{n_{\text{ікри}}}{\omega}$$

де $N_{\text{інкуб}}$ – кількість інкубаційних апаратів, шт.;

$n_{\text{ікри}}$ – кількість ікри, що завантажуються на інкубацію, шт;

ω – норма завантаження ікри у інкубаційний апарат, шт.

Отримане число заокруглюють до цілих у більшу сторону, заокруглення у меншу сторону можливе лише у разі, якщо нормативна щільність посадки не перевищується або здійснюються такі технологічні рішення, як підвищення кратності водообміну у даній групі ємкостей. Проводять аналіз ефективності прийняття проектних рішень стосовно типу та конструкції обраних басейнів, розрахунковій кількості басейнів та прийнятій кількості на основі здійсненого розрахунку. На основі аналізу роблять висновки про доцільність вибору тих чи інших видів басейнів, порівнюють альтернативні варіанти та приймають найкращий з точки зору ефективності використання площі та економічної доцільності.

Практична робота № 2. Розрахунок водообміну у басейнах.

Мета: отримати навички з розрахунку водообміну у рибницьких басейнах.

Теоретична частина. Проточний режим кожного рибницького басейна в РАС забезпечує підтримку фізико-хімічних параметрів води у належному стані. Відведена з басейнів вода містить метаболіти риб як у розчиненому, так і в нерозчиненому стані, залишки корму, слиз, тоді як вода, що

надходить у басейн, містить розчинений кисень, у разі потреби має підвищену температуру для забезпечення заданого температурного режиму.

Відповідно, інтенсивність забруднення водного середовища кожного окремого басейну будуть визначати необхідний рівень водообміну у ньому. Оскільки кожна свіжа порція води, що надходить у басейн з рибами дуже швидко перемішується з усім об'ємом, необхідно враховувати таке розбавлення. Більшість басейнів за своїм гідравлічним режимом схожі на ідеальні змішувачі. Основними критеріями щодо визначення необхідної кратності водообміну можуть бути концентрація токсичних сполук (амонійного Нітрогену) чи нерозчинених органічних домішок, вміст кисню або температура води. Той чинник, який у процесі функціонування рибницького басейна першим потребуватиме корекції чи зміни фактично і буде виступати як критичний для даної ємкості, він і буде визначальним для розрахунку водообміну. Наприклад, кларієвий сом не відчуває дискомфорту при вирощуванні у каламутній воді, також він не потребуватиме розчиненого у воді кисню, оскільки дихає атмосферним повітрям. Водночас, при накопиченні амонійного Нітрогену у басейні з кларієвим сомом зростатиме ризик його отруєння, надлишок завжди уповільнюватиме темпи росту сомів. Тому кратність водообміну у даному випадку визначатимуть виходячи з динаміки накопичення сполук Нітрогену.

У практиці РАС проєктування господарств здійснюють на основі регламентованих нормативів для кожного об'єкта аквакультури, зокрема потреба у водоспоживанні розраховується за нормативною кратністю водообміну (кількість об'ємів басейну, що зміниться за одиницю часу) або повним часом водообміну (оберненою величиною). Такі величини приймають з урахуванням потреб об'єктів аквакультури на різних етапах розвитку, встановлених щільностей посадки, ефективності відведення метаболітів та інших чинників. Проте, вони не можуть розглядатися як суворі нормативи, оскільки вплив на формування якості води у басейні здійснюється багатьма чинниками. Тому залежно від особливостей кожного окремого господарства

гідравлічний режим у басейнах для одного і того ж об'єкту аквакультури може суттєво відрізнитися.

Хід роботи.

1. Ознайомлюються з конструкціями та формами рибницьких басейнів. Досліджують елементи басейнів, які призначені для забезпечення водообміну у них, особливості їх взаємного розташування.

2. Досліджують відмінності у гідравлічному режимі басейнів різних форм та визначають форми, більш наближені за режимом до «ідеального змішувача» та «ідеального витиснювача».

3. На основі заданої регламентної кратності водообміну визначають витрату води у круглому басейні об'ємом 2 м^3 .

3. Розраховують реальний обсяг заміни води, у тому ж басейні, за умови, що він працює як «ідеальний змішувач».

Таблиця. 1. Дані для розрахунку водоспоживання рибницькими басейнами

Форма	Розміри басейна, м	Нормативний час водообміну, хв	Розрахункова витрата, $\text{м}^3/\text{год}$
Кругла			
Квадратна			
Прямокутна			

Приклад. У басейн об'ємом 100 л протягом 5 хвилин подається 50 л свіжої води (витрата дорівнює 10 л/хв). Такий самий об'єм протягом цього часу витікає з басейну як забруднена вода. Який об'єм старої води змінюється у басейні протягом 5 хв та 10 хв , якщо його гідравлічний режим роботи наближений до «ідеального змішувача».

Враховуючи вихідні дані кратність водообміну у даному басейні становить

$$k = 600 \text{ л/год} / 100 \text{ л} = 6 \text{ год}^{-1}.$$

Відповідно, протягом години об'єм води у басейні має змінитись 6 разів, а час повного водообміну – 10 хв.

Реальний об'єм води, який буде змінено у басейні визначаємо за формулою:

$$F = \left(1 - e^{-\frac{T}{t}}\right) \cdot 100$$

де t – час, необхідний для заповнення басейну водою при заданій витраті; відповідно до заданого об'єму, час заповнення басейну становитиме 10 хв;

T – тривалість додавання свіжої води, хв.

Тоді для першого варіанта:

$$F = \left(1 - e^{-\frac{5}{10}}\right) \cdot 100 = (1 - 0,605) \cdot 100 = 39,5 \%$$

Для другого варіанта:

$$F = \left(1 - e^{-\frac{10}{10}}\right) \cdot 100 = 63,2 \%$$

Як видно із результатів, у реальності при заданій витраті оновиться не весь об'єм води у басейні, а лише 63,2% від його об'єму. Це означає, що для забезпечення виведення основної частки утворених у басейні метаболітів витрату води доведеться суттєво збільшувати, враховуючи наслідки процесів розбавлення. Також наслідком процесів розбавлення буде і той факт, що у воді яка відводиться, концентрація забруднень буде пропорційно нижчою за розрахункову.

Завдання. На основі отриманих результатів зробити висновки про вплив інтенсивності водообміну у басейнах на роботу інших блоків РАС та концентрації забруднень у оборотній воді. Які конструктивні елементи басейнів відповідають за забезпечення належного водообміну? Чи можна змінити час повного водообміну у басейні, якщо в ньому щільність посадки знизили на 50% порівняно з максимально допустимою для даного об'єкта аквакультури?

Практична робота № 3. Водогосподарський розрахунок у РАС.

Мета: отримати навички з водогосподарського розрахунку РАС.

Теоретична частина. Визначення потреби води господарством дає можливість розрахувати споруди з біологічного та механічного очищення, а також здійснити підбір насосів для забезпечення перекачування циркуляційної води та підживлювальної води із природного джерела водопостачання.

Після визначення максимальної витрати води господарством визначають витрату підживлювальної води, обсяг якої має становити 3-10% від загального об'єму усіх басейнів. Відповідно, господарство на 97-90% буде використовувати очищену після використання воду, а 3-10% будуть виводитись із системи.

Схема водозабезпечення рибницького господарства індустріального типу має включати блок із забору підживлювальної води із природного джерела та її попередньої обробки; блок біологічного і механічного очищення циркуляційної води, трубопроводи та обладнання для перекачування води. Залежно від типу джерела водопостачання необхідно передбачити підземний або поверхневий водозабір для господарства.

Хід роботи.

1. Визначають витрату води для кожного з басейнів певної групи та загальну витрату на даному етапі вирощування. Витрата води для окремої групи ємностей визначається виходячи із необхідної проточності (кратністю водообміну) басейнів чи лотків. Більшість сучасних технологій вирощування об'єктів аквакультури в РАС передбачають нормативну кратність водообміну (час водообміну) на кожному етапі вирощування. Тому для розрахунку необхідної витрати води, що протікає у басейні, необхідно знати об'єм басейна та рекомендовану кратність на даному етапі:

$$Q_n = V_n / \tau_n$$

де Q_n – витрата води у басейні на n -му етапі вирощування, м³/год;
 τ_n – нормативний час водообміну на даному етапі вирощування, год.

Також витрата води може розраховуватись виходячи із норми протoku води на одиницю ваги риб або їх кількості:

$$Q = q \cdot n,$$

де Q – витрата води у басейні (лотку), м³/год;
 q – нормативна витрата води на одиницю маси або кількості риб, м³/(год·екз), (м³/(год·кг));
 n – кількість (маса) риб окремої вікової групи, шт. (кг).

Загальна витрата води від групи ємностей, призначених для вирощування певної вікової групи риб становитиме:

$$Q_{\text{заг}} = Q \cdot N_{\text{бас}}$$

Загальні витрати води визначаються окремо для кожної групи ємностей, що задіяні у окремому виробничому процесі.

2. Після визначення загальних витрат у басейнах та інших ємностях складають графік водоспоживання, який відображає період та тривалість експлуатації окремих робочих ємностей. Для цього по горизонтальній осі координат розбивають тривалість одного виробничого циклу (один рік або півроку). Відповідно до водоспоживання на кожному технологічному етапі по вертикальній осі відкладають загальну витрату води, яка становить суму загальних витрат усіх ємностей, що задіяні на даному етапі. За графіком визначають період із максимальним водоспоживанням та необхідну витрату води для даного періоду. Розрахунок усіх споруд та обладнання для обробки і перекачування циркуляційної і підживлювальної води здійснюють за періодом максимального водоспоживання.

Практична робота № 4. Системи терморегуляції водного контуру РАС

Мета: ознайомитись з сучасними енергоефективними технологіями підтримки належного температурного режиму у господарствах з оборотним.

Теоретична частина. Підтримка належного температурного режиму при вирощуванні продукції аквакультури є визначальними чинником тривалості виробничого процесу, адже риби і ракоподібні відносяться до холоднокровних тварин. Сьогодні основний обсяг індустриальної аквакультури представлений тропічними видами, що характеризуються порівняно високими темпами росту та, водночас, потребують утримання за достатньо високої температури води (23-28°C). Відповідно, зростання вартості основних енергоносіїв призводитиме до пропорційного зростання витрат на терморегуляцію. Сучасні технології відновлювальної енергетики дозволяють знизити рівень залежності від централізованих постачальників енергоносіїв, суттєво зменшити питомі витрати на терморегуляцію, нейтралізувати потенційні ризики, пов'язані з перебоями електропостачання, а також в окремих випадках досягнути повної незалежності.

Попри перспективність використання відновних джерел енергії (вітрової та сонячної енергії) для нагріву води а також для забезпечення інших потреб господарства, такі системи ще не здобули поширення в Україні. Причинами тому є відсутність державної підтримки з розвитку такої енергетики у галузі та достатньо висока вартість обладнання, що тягне за собою необхідність значних капіталовкладень на початку створення проекту. Найбільш поширеним в Україні обладнанням для нагріву води є котли різних типів. Менш актуальними на сьогодні виявляються газові котли, вартість якого є найвищою. При порівнянні газу та твердих горючих матеріалів можна зазначити, що відокремлені від крупних міст фермерські господарства не завжди мають можливість використовувати газ, окрім того – у

сільській місцевості завжди знаходяться тверді відходи (деревина, тирса, солома та ін.), які можна ефективно використати для обігріву господарства. Такий спосіб є найменш витратним і достатньо надійним – адже відпадає залежність від постачальника газу або рідкого палива. Для забезпечення передачі тепла, отриманого при згорянні енергоносіїв, використовуються теплообмінники. Саме у них і відбувається нагрів циркуляційної або підживлювальної води до необхідної температури.

Хід роботи.

1. Ознайомлюються із типами сучасних сонячних панелей та оснащення для автономної сонячної електростанції. Вивчають основні технічні характеристики сонячних панелей, правила їх встановлення та експлуатації.
2. Вивчають конструкцію та принцип дії вакуумних сонячних колекторів, визначають межі їх застосування в РАС. На основі довідкової інформації інтернет-ресурсів аналізують його переваги та недоліки порівняно з електростанцією на фотоелементах.
3. Досліджують умови сумісного розміщення джерел відновлювальної енергетики та теплогенераторів на газі або твердому паливі з метою забезпечення надійної терморегуляції у господарстві при мінімальних поточних витратах енергоносіїв.
4. На основі схеми взаємного розміщення основних елементів РАС та системи терморегуляції (рис.1) здійснюють аналіз особливості її функціонування у різні періоди доби та залежно від сезону. Визначають основні пріоритети при виборі систем альтернативної енергетики.

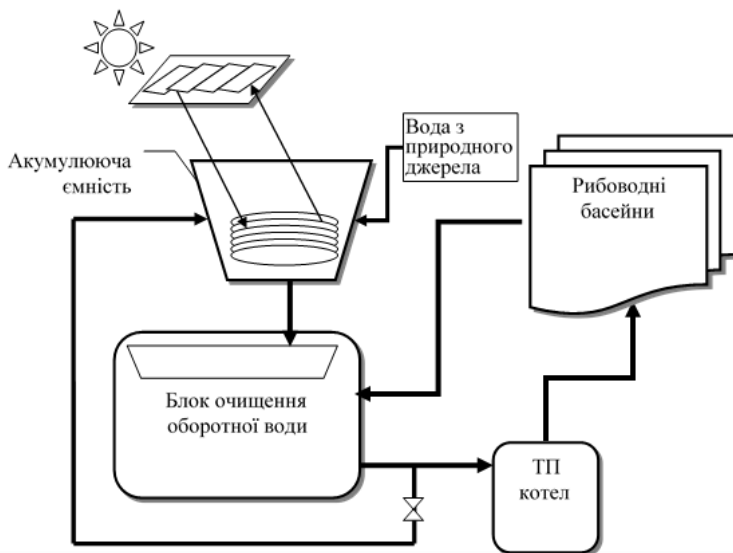


Рис. 1. Комбінована система нагріву води з використанням твердопаливного котла та вакуумного сонячного колектора.

Оскільки витрата підживлювальної води у більшості РАС складає 5-10% від загального об'єму води басейнів, у акумуляючу ємність, де відбувається нагрів підживлювальної води, необхідно подавати частину очищеної води. Її потрібний об'єм буде визначатись потужністю геліосистеми та необхідним ступенем розбавлення води в РАС.

На основі технічних даних сонячних колекторів різних моделей підбирають необхідний об'єм акумуляючої ємності УЗВ та обгрунтовують прийняте рішення.

Практична робота № 5.

Споруди механічного очищення оборотної води РАС.

Мета: отримати навички з підбору споруд механічного очищення оборотної води РАС.

Теоретична частина. Механічні методи очищення використовують як для обробки підживлювальної води із природних джерел, так і для очищення циркуляційної води УЗВ. За допомогою механічних методів із води можна видалити нерозчинені домішки відносно великих розмірів (30мкм-1 см), або спливаючі чи тонучі часточки.

Серед механічних методів видалення нерозчинених включень із води найбільш часто використовують відстоювання, проціджування та фільтрацію. Методи відстоювання, реалізація яких потребує відведення значних площ, використовуються обмежено, переважно при водозаборі з поверхневих джерел, що характеризуються високою каламутністю. Найбільш поширені у практиці РАС барабанні фільтри-проціджувачі дозволяють у безперервному режимі видаляти з води нерозчинені домішки. Пропускна здатність таких споруд суттєво залежить від крупності цідильної сітки, тому попри теоретичну можливість затримати основну масу дрібнодисперсних забруднень оборотної води, на практиці це виявляється достатньо складно через інтенсивне облипання цідильної поверхні. Особливо гостро такі проблеми постають у господарствах з вирощування кларієвого сома, оборотна вода яких характеризується значною кількістю слизу з поверхні риб.

Механічні фільтри з піщаним або полімерним фільтруючим завантаженням застосовують переважно для очищення підживлювальної води. Використання таких фільтрів для освітлення оборотної води після процесів біологічного очищення супроводжується ризиками розвитку на поверхні фільтруючого завантаження біоплівки та швидким забиванням фільтра. Для очищення відносно невеликих об'ємів води (5-30 м³/год) можливо використовувати установки механічного фільтрування марки CRISTALL. Корпус фільтра цих установок виконується із поліпропілену. Фільтруючим завантаженням служить пісок

крупністю 0,4-1,2 мм. Промивка фільтруючого завантаження здійснюється вручну по мірі забруднення. Схожі технічні характеристики мають механічні фільтрувальні установки марки Berlin.

Для забезпечення безперервного надходження підживлювальної води у період, коли фільтр виводиться на промивку, необхідно передбачити влаштування збірною резервуара очищеної води, або встановлення двох взаємозамінних фільтрів.

Хід роботи.

1. Ознайомлюються з особливостями видалення нерозчинених домішок за допомогою найбільш поширених методів механічного очищення.
2. Досліджують конструкції основних споруд механічного очищення, вивчають регламент роботи таких споруд, правила їх обслуговування.
3. Здійснюють підбір споруд механічного очищення для РАС із заданими показниками оборотної та підживлювальної води. Вибір здійснюють за наданим каталогом обладнання для аквакультури.
4. Здійснюють розрахунок пропускної потужності безнапірного механічного фільтра із сипучим завантаженням.

При визначенні конфігурації механічного фільтра потрібно виходити з параметрів осідання в його тілі затриманих часток. Чим дрібніше пори механічного фільтра, тим менший шлях і з більшою швидкістю в його тілі пройде частка до осідання. Однак зменшувати пори фільтра можна до певної межі - чим дрібніше пори, тим більший опір водному потоку вони чинять. Крім того, фільтр із дрібними порами вимагає більше частого промивання. Наведені передумови описуються формулою:

$$Q = AK/d ,$$

де Q - витрата води через фільтр (л/с),
 A - площа фільтруючої поверхні (м²),
 K - коефіцієнт проникності фільтруючого шару,
 d - товщина фільтруючого шару (м).

Витиснення води завантаженням фільтра, %	45	50	55
K	0,60	0,50	0,40

4. На основі отриманих результатів здійснюють порівняння напірного та безнапірного механічних фільтрів за їх технологічними параметрами.
5. Вивчають необхідні елементи обв'язки споруд різних типів для включення у контур РАС.

Практична робота № 6.

Споруди біологічного очищення оборотної води РАС.

Мета: отримати навички з розрахунку необхідного об'єму біофільтра для очищення оборотної води РАС.

Теоретична частина. Головними перевагами методів біологічного очищення при обробці циркуляційної води РАС є те, що у процесі реалізації таких методів відбувається не лише вилучення, а й трансформація забруднюючих речовин. Біологічне очищення відбувається внаслідок життєдіяльності гідробіонтів, що є мікробіоценозом споруд біологічного очищення. По своїй суті такі процеси є ідентичними процесам самоочищення будь-якої природної водойми. Відповідно апаратне оформлення методів біологічного очищення має забезпечувати протікання у спорудах процесів трансформації та вилучення біогенних елементів у процесі життєдіяльності біоценозу споруди. Азотмісткі відходи поступово перетворюються в аміак, що шляхом нітрифікації переходить у

нітрати через нітрити NO^2 . Цей процес здійснюється аеробними бактеріями. Бактерії *Nitrosomonas* забезпечують перетворення аміаку в нітрити, а *Nitrobacter* - нітритів у нітрати. У замкнутих циркуляційних системах, де відсутні фотосинтезуючі організми, концентрація нітратів може виявитися надмірно високою. Для вилучення останніх з обороту можливо вдається до використання анаеробних процесів або часткової підміни води. В анаеробних процесах беруть участь бактерії *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus* та ін. Для свого дихання ці бактерії використовують кисень, що міститься в нітратах і тим самим звільняють азот, що виходить із системи у формі газу. Для ініціації процесу денітрифікації, концентрація кисню повинна бути не більше 2 мг/л. Ефективність споруд біологічного очищення циркуляційної води фактично визначає кількість води, яку необхідно видалити з системи і замінити свіжою для підтримки основних показників забруднень в допустимих межах.

Хід роботи.

1. Досліджують найбільш поширені конструкції біофільтрів, що використовуються у практиці РАС. Для обробки циркуляційної води замкнутих систем життєзабезпечення використовують біофільтри різноманітних конструкцій (дисккові, обертові, барабанні, зрошувальні та ін.). Вивчають особливості роботи таких фільтрів, їх переваги та недоліки.

2. Для забезпечення очищення певного об'єму води, що має циркулювати у господарстві, необхідно здійснити розрахунок споруди біологічного очищення - біофільтра. Розрахунок біофільтра полягає у визначенні необхідного об'єму (площі) фільтруючого завантаження, кількості споруд та їх конструктивних розмірів.

При використанні зрошуваних (краплинних) біофільтрів висота фільтруючого шару приймається рівною 2-2,5 м. Робоча площа біофільтра визначається за формулою:

$$F_{\phi} = Q_{\text{цирк}} / g ,$$

де F_{ϕ} – площа біофільтра, м^2 ;

$Q_{\text{цирк}}$ – витрата циркуляційної води, $\text{м}^3/\text{год}$;

g – гідравлічне навантаження на краплинний біофільтр, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, залежно від конструкції та завантаження приймається рівним 5-10.

Після визначення необхідної площі біофільтра приймають кількість секцій (від 2 до 6) та визначають їх конструктивні розміри.

3. Для видалення з оборотної води відмерлої біоплівки, що виноситься із біофільтра, необхідно передбачити відповідні споруди. Окремі конструкції біофільтрів передбачають її затримання і видалення в межах споруди. При використанні традиційних краплинних біофільтрів необхідним є визначення об'єму відстійника після біофільтра, де будуть затримуватися нерозчинені частки, що виносяться із споруди (відмерла біоплівка). Об'єм відстійника, що встановлюється після краплинного біофільтра, визначається за формулою:

$$V_{\text{відст}} = Q_{\text{цирк}} \cdot t ,$$

де $V_{\text{відст}}$ – об'єм вторинного відстійника, м^3 ;

t – час перебування води у відстійнику, приймається рівним 10 хв.

4. Схематично зображують споруди біологічного очищення та додаткові технологічні елементи у плані блок очищення оборотної води РАС.

Практична робота № 7.

Технології вирощування кларієвого сома у РАС

Мета: отримати навички розрахунку господарства для вирощування кларієвого сома (*Clarias angolensis*) за технологіями РАС.

Теоретична частина. Кларієвий сом відноситься до невибагливих об'єктів тепловодної аквакультури, який завдяки швидким темпам росту, стійкості до стресових чинників та простоті розведення став одним із лідерів за обсягами вирощування в аквакультурі. Має біле смачне ніжне м'ясо, відсутність луски і дрібних кісток. Легкий у переробці та в приготуванні.

У країнах Європейського Союзу кларієвий сом вирощується в РАС, хоча на останніх етапах вирощування можна також комбінувати з садковим вирощуванням на теплих водах. Для кліматичних умов України РАС є найбільш раціональною технологією вирощування кларієвого сома, яка дозволяє отримувати продукцію рівномірно протягом усього року та завдяки високим щільностям посадки забезпечує найвищий показник виробничої потужності на одиницю задіяних виробничих площ.

Оскільки розведення кларієвого сому нескладне, як і вирощування молоді, у більшість сомових РАС працюють як повносистемні господарства. Для розведення кларієвого сома необхідно сформувати маточне поголів'я, із риб, що мають найбільший темп росту. У самок статева зрілість настає після 6 - 7 місяців. Кращі результати розмноження - у самок у віці 1,5-2 роки. Добре розвинені й повноцінні гонади формуються у самців після 1,5-2 років.

Хід роботи.

1. Ознайомитись з досвідом країн Європи по вирощуванню кларієвого сома в РАС, визначити основні відмінності вирощування від технологій вирощування каналного сома.

2. На основі результатів досліджень темпів росту сомів при різних температурних режимах обґрунтувати раціональні температурні межі вирощування та тривалість.
3. Провести аналіз основних складових собівартості кларієвого сома при вирощування в РАС, виділити критичні виробничі чинники. Дослідити особливості розведення кларієвого сома в РАС.
4. На основі технологічної схеми вирощування здійснити розрахунок басейнів та водообміну в РАС для вирощування кларієвого сома за заданими показниками виробничої потужності.

Технологічна схема вирощування кларієвого сома в РАС.

Етап вирощування	Посадка		Вилонна маса, г	Тривалість	Відхід, %	Водообмін
	екз/л	маса, г				
Інкубація + витримування				4 дні	20	за норми
1	50-150	-	0,3- 0,5	3 тижня	10%	30 хв
2	20	0,5	4	2-3 тижня	5%	30 хв
3	10	4	20	3 тижня	1%	1 год
4	2,5-1,5	20	150 (200)	8 тижнів		1 год
5	150-450 кг/м	150	600 (800)	8 тижнів		1 год

Практична робота № 8. Технології вирощування тиліпій у РАС

Мета: отримати навички розрахунку господарства для вирощування тиліпій за технологіями РАС.

Теоретична частина. Одними із найбільш перспективних для культивування в РАС серед представників родини Цихлових є тиліпії. Сьогодні тиліпії культивують досить широко: у штучних

водоймах практично усіх країн Африки, Південно-Східної та Центральної Азії, Латинської Америки та США. Поряд із товстолобиком, тилапію вирощують також у геотермальних водах та у садкових господарствах на базі водойм охолоджувачів. За окремими даними тилапія виходить на друге місце після коропа як об'єкт прісноводного риборозведення. Світовими лідерами з вирощування тилапій є Малазія, Бразилія та Китай. Переважна частина продукції вирощується у відкритих водоймах у садкових господарствах. Досить поширеною також є технологія басейнового вирощування на відкритому просторі та у замкнутих установках. Серед більш ніж 70-ти відомих видів у світовому риборозведенні культивують порівняно обмежену кількість представників трьох основних родів, які відрізняються поведінкою при розмноженні:

- родина *Tilapia* — ікра і личинки розвиваються на субстраті. Найбільш відомі із промислових видів: зіллі, марія і гвінейська тилапія
- родина *Sarotherodon* — потомство виношують в роті самці (тилапія макроцефала);
- родина *Oreochromis* — інкубація ікри і виношування потомства відбуваються в роті у самок (тилапії мозамбика, харнурум, роху, ауреа).

Найбільш технологічна для відтворення і вирощування мозамбикская тилапія (*T. mossambica*), завдяки високому темпу росту і хорошим смаковим якостям. Саме на цей вид припадає близько 80% усього світового обсягу вирощених тилапій. Вона невибаглива, може рости і розвиватися у воді з високим вмістом біогенних речовин і у воді солоністю до 35‰. Дозріває у віці 5 місяців, при довжині 6-10 см. Для її розведення не потрібно застосовувати метод гормонального стимулювання.

Хід роботи.

1. Ознайомитись з досвідом країн Африки, Південно-Східної Азії та Європи по вирощуванню тилапій, визначити основні відмінності вирощування у відкритих водоймах, садках та проточних басейнових господарствах.

2. Провести аналіз основних складових собівартості тилапії при вирощування в РАС, виділити критичні виробничі чинники. Дослідити особливості розведення тилапій різних родів в РАС.
4. На основі технологічної схеми вирощування здійснити розрахунок басейнів та водообміну в РАС для вирощування мозамбікської тилапії за заданими показниками виробничої потужності.

Рибоводно-біологічні нормативи вирощування тилапії мозамбікської в РАС.

Маса, г	Щільність посадки, кг/м ³	Вихід, %	Період вирощування, днів	Водообмін, год
0,1-2	25 тис. шт./м ³	80-85	15	0,25
2-10	4-5 тис. шт./м ³	85	20	0,5
10-60	20	95	20	1
60-100	60	96	20	1
100-140	90-100	97	20	1
140-180	120	97	20	1
180-220	150	97	20	1
220-250	150	93	30	1

Практична робота № 9.

Технології вирощування форелі камлоопс в РАС.

Мета: отримати навички розрахунку господарства для вирощування форелі камлоопс (*Oncorhynchus mykiss kamloops Jordan*) за технологіями РАС.

Теоретична частина. Лососеві мають вагомe значення у світовому рибництві, а обсяги вирощування в аквакультурі лососів та форелі постійно зростають. Вирощування цих об'єктів

аквакультури у басейнах та садках вимагає наявності достатньо потужного джерела якісної води. Основну масову частку сучасного форелевництва складають струмкова та райдужна форель, форель Доналдсона а також форель камлоопс. Високі темп росту та швидкість дозрівання, характерні для форелі камлоопс, роблять її найбільш привабливим об'єктом для індустріального рибництва. При застосуванні басейнової схеми використовують як круглі, так і видовжені прямокутні басейни глибиною до 1,5 м. При вирощуванні в РАС максимальна щільність посадки досягає 100 кг/м^3 , при цьому витрати корму зводяться до мінімуму. Також перевагою індустріальних методів є значна економія земельних площ на вирощування рибницької продукції.

Для України форель є одним з традиційних об'єктів аквакультури, проте рибоводно-біологічні характеристики поширених у нашій країні видів суттєво обмежують конкурентоздатність більшості форелевих акваферм. Сучасні досягнення у селекції, зокрема й на генетичному рівні, дозволяють прискорити темпи росту форелі, підвищити стійкість до хвороб та розширити часовий діапазон сезону нересту. Відповідно, з'являються передумови для підвищення ефективності виробництва форелі в РАС. Форель камлоопс вважають одним з найбільш перспективних видів для вирощування у РАС, адже вона має найшвидші темпи росту порівняно з іншими видами, характеризується ранніми етапами нересту. Строки настання статевої зрілості залежать від спадкових особливостей плідників та умов навколишнього середовища. Серед останніх найбільшу роль відіграють освітленість, температура і швидкість течії води. У райдужної форелі статева зрілість настає тим швидше, чим коротший період з денним освітленням. Прискорити дозрівання риб можна також підвищенням температури води і застосуванням гіпофізарних ін'єкцій. Сприятливо впливає на дозрівання статевих продуктів і збільшення швидкості течії води. В умовах холодноводного господарства важливим питанням залишається підтримка оптимального температурного режиму у період літньої спеки та

взимку. Достатньо часто у РАС утримують декілька окремих видів, які відрізняються нерестовими періодами, що дозволяє підвищити ефективність використання наявних виробничих площ. Усі лососеві мають достатньо високі вимоги до якості води та кормів тому вирощування будь-яких видів форелі в РАС є значно складнішим, ніж вирощування сомових чи тиляпій.

Хід роботи.

1. Досліджують особливості вирощування в аквакультури лососевих, ознайомлюються з рибоводно-біологічними нормативами для культивування форелі за технологіями РАС. Проводять порівняльний аналіз доцільності вирощування різних видів та породних груп форелі за різними технологіями аквакультури.
2. Вивчають вимоги найбільш популярних видів форелі до фізико-хімічних параметрів води, гідравлічного режиму та якості кормів. Формують перелік необхідного обладнання для забезпечення таких вимог в РАС.
3. На основі технологічної схеми вирощування здійснюють розрахунок басейнів та водообміну в РАС для вирощування форелі камлоопс за заданими показниками виробничої потужності.

Технологічна схема вирощування форелі камлоопс в РАС

Маса, г	Щільність посадки, кг/м ³	Вихід, %	Період вирощування, діб	Водообмін, хв
0,2-1	25 тис.шт./м ³	80-85	20	20
1-10	4-5 тис. шт./м ³	85	80	20
10-50	20	95	65	20
50-100	40	96	90	10-15
100-350	50-100	97	65	10-20

Практична робота № 10. Технології вирощування ракоподібних в РАС

Мета: дослідити специфіку технології культивування прісноводних та морських креветок в РАС, ознайомитись із особливостями та перспективами реалізації таких проектів в Україні.

Теоретична частина. Креветки являють собою сегмент продукції, що користується високим попитом у багатьох країнах світу, обсяг якого щороку зростає. При цьому зростання відбувається виключно за рахунок збільшення потужностей аквакультури, адже доля вилову має стійку тенденцію до зниження внаслідок виснаження запасів Світового океану. Найбільш технологічними та привабливими з економічної точки зору є прісноводний вид креветки Розенберга (*Macrobrachium rosenbergii*) та морської креветки ваннамеї (*Litopenaeus vannamei*). Природно-кліматичні умови нашої держави дозволяють культивувати таку продукцію виключно в умовах РАС, де процес вирощування відбувається у контрольованих умовах неглибоких басейнів чи лотків. Креветка макробрахіум на личинковому етапі потребує утримання у солоній воді, тому дані культиватори мають бути відокремленими від загального прісного контуру РАС.

Найбільш близьким до реалізації стадії повноцінного виробничого процесу в Україні є інший об'єкт аквакультури – австралійський червонопалий рак (*Cherax quadricarinatus*). Основними технологічними перевагами даного виду перед поширеними у наших водоймах видами раків є значно швидші темпи росту та невибагливість до складу кормів. Водночас, проблемними аспектами культивування австралійського рака є необхідність підтримки температурного режиму у діапазоні 22-28°C та порівняно невеликі щільності посадки на основних етапах вирощування. Дані чинники зумовлюють додаткові витрати на утеплення ферми та опалення у холодну пору року а також призводять до необхідності задіяння під виробництво значних площ.

Хід роботи.

1. Ознайомитись з досвідом країн Азії та Європи по вирощуванню креветок, визначити основні відмінності вирощування у басейнах на відкритому повітрі та в умовах УЗВ. Виокремити окремі етапи, що характеризуються змінами у морфології та щодо вимог до умов культивування. Розробити основні технологічні операції, необхідні для вирощування прісноводної креветки *Macrobrachium rosenbergii* в РАС.

2. На основі технологічної карти вирощування австралійського рака в УЗВ здійснюють розрахунок основних розмірно-вагових груп, необхідної кількості ємностей та потребі у водозабезпеченні. Тривалість вирощування до товарної ваги у 50-60 г приймають рівною 6 місяців.

Розрахунок основних розмірно-вагових груп та потреби у басейнах
на ½ виробничої потужності (400+ кг) – І модуль

Група/ Маса, г	Вихід, %	К-сть, екз	Вага, кг	ЩП, кг/м ²	Період, діб	Заг. Т, діб	Об'єм м ³	басейн	К-сть, шт	Заг. об'єм, м ³	Витрата води
0,5	80	15 тис.	7,5	5 тис.	7	7	3	400 л	8	3,2	
1	80	11900	11,9	екз/м ³	8	15	2,38				
2	90	10700	21,4	2 тис. екз/м ³	15	30	10,7	1 м ³	12	12	
5	90	9600	48	3	20	50	16	1 м ³	18	18	
10	90	8650	86,5	5	30	80	18				
50	80	6900	345	5	80	160	69	5,7 м ³	12	68,4	
75-80	80	5500	400	7	60+	220+	57	4x2 = 5,7 м ³	10	57	
Плідник		60 самок 50 самців									

* Приклад розрахунку потреби у басейнах господарства з вирощування австралійського рака.

Рекомендована література

1. Odd-Ivar Lekang. Aquaculture Engineering, Third Edition : Published by John Wiley & Sons Ltd., 2020. 525 p.
2. Bregnballe J. A. Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems : FAO and EUROFISH, 2015. 97 p.
3. Шерман І. М., Рилов В. Г. Технологія виробництва продукції рибництва : підручник. Київ : «Вища освіта», 2005. 351 с.
4. Сучасна аквакультура: від теорії до практики : практичний посібник / Шарило Ю.Є. та ін. К. : «Простобук», 2016. 119 с.
5. Timmons M. B, Ebeling J. M., Wheaton F. W, Summerfelt S. T, Vinci B.J. Recirculating Aquaculture Systems. Ithaca, NY : Cayuga Aqua Ventures, 2001. 650 p.
6. Маменко О. М., Портянник С. В., Щербак О. В. Інноваційні технології в рибництві. Харків : РВВ Харківської державної зооветеринарної академії, 2017. 320 с.
7. Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants. John S. Lucas, Paul C. Southgate, Craig S. Tucker (Editors). 2019. Wiley-Blackwell. ISBN 978-1119230861.
8. Андрущенко А. І., Вовк Н. І. Аквакультура штучних водойм. Частина II. Індустріальна аквакультура : підручник. Київ, 2014. 586 с.