



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 агроекології та землеустрою  
Кафедра водних біоресурсів

**05-03-145М**

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни  
«Інтегрована мультитрофічна 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 № 23 від 27.08.2024 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 «Інтегрована мультитрофічна 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. – 31 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 проєкту 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
<b>Змістовний модуль 1. Інтегрована мультитрофічна аквакультура відкритих водних систем</b>	5
1. Проектування складових компонентів ІМТА у акваторії моря	5
2. Розрахунок потенційного навантаження за нітрогеном та фосфором від садкового господарства.	7
3. Розробка технологічних карт на виробництво продукції ІМТА.	9
4. Системи контролю параметрів водного середовища в ІМТА відкритих водойм	12
<b>Змістовний модуль 2. Інтегрована мультитрофічна аквакультура у системах з рециркуляцією</b>	14
5. Трансформація нерозчинених органічних сполук замкнутому контурі прісноводної ІМТА.	14
6. Розрахунок потенційного бюджету нітрогену у формі амоній-йону для системи аквапоніки	16
7. Розрахунок потенційного бюджету фосфору для системи аквапоніки	19
8. Вирощування додаткових культур ІМТА в інтегрованих з РАС комплексах	21
8. Вирощування додаткових культур ІМТА в інтегрованих з РАС комплексах.	22
9. Організація штучного освітлення системи аквапоніки	24
10. Організація додаткового підживлення рослин в межах системи аквапоніки	26
11. Краш-тест інноваційного проекту у галузі ІМТА (ділова гра).	28
Рекомендована література	31

## Вступ

Дисципліна «Інтегрована мультитрофічна аквакультура» присвячена новітнім технологіям у галузі, які дозволяють забезпечити стійкий ріст аквакультури з одночасним вирішенням актуальних проблем негативного впливу аквакультури на довкілля та обмеженості біоресурсів.

Метою дисципліни є ознайомлення студентів з принципами вирощування об'єктів аквакультури та кормових організмів, рослинницької продукції в межах спільного водного контуру, формування навичок з проектування та управління інтегрованими аквакультурними системами.

Цілі:

1. Розширити знання про технології вирощування об'єктів аквакультури, кормових організмів та с/г рослин у системах із оборотним водопостачанням.

2. Дослідити вимоги окремих груп до параметрів середовища та умови процесів їх культивування у спільному водному контурі.

3. Сформувати навички з розрахунку та проектування інтегрованих аквакультурних систем з оборотним водопостачанням.

**Змістовий модуль 1. Інтегрована мультитрофічна  
аквакультура відкритих водних систем.  
Практичне заняття № 1.  
Проектування складових компонентів ІМТА  
у акваторії моря**

**Мета:** отримати навички з підбору та взаємного розміщення складових компонентів інтегрованих з садковими лініями блоків додаткових культур.

**Теоретична частина.** Інтегрована мультитрофічна аквакультура має величезний потенціал для реалізації на відкритій воді, адже мова йде про потужні садкові комплекси, розташовані в прибережній лінії морів та океанів. Попри те, що значна частина потенційно цінних сполук-метаболітів риб буде розсіюватись, не потрапляючи до додаткових культур інтегрованого господарства, розташовані у безпосередній близькості культиватори зможуть «перехопити» важливі для їх живлення компоненти. На взаємне розташування у першу чергу впливатимуть гідрологічні умови у місці розташування садкового господарства, характеристики кормів, які використовують для вирощування риб. Ці чинники разом з економічними будуть впливати і на вибір об'єктів для додаткової культури в межах ІМТА. Враховуючи, що основна частина біогенних елементів виділяється рибами у розчиненому вигляді (аміак, фосфати), невід'ємним компонентом ІМТА буде блок для вирощування водоростей. Залежно від характеристик нерозчинених домішок, фізико-хімічних параметрів води та комерційної доцільності обирають об'єкти додаткової культури, які трансформуватимуть органічні рештки. Водоростеві блоки розташовують залежно від наявних течій або охоплюючи по периметру садкове господарство, або нижче за течією поряд з садками. За схожим принципом розташовують носії для культивування моллюсків-фільтраторів, адже дрібні нерозчинені домішки, якими харчуються моллюски відносяться до зважених речовин. Утилізація крупних фрагментів (фекалій, залишків корму, слизу чи луски) відбуватиметься у розташованих на дні культиваторах

для багатощетинкових черв'яків, кишковопорожнинних або інших об'єктів додаткової культури. Одним з варіантів включення даної групи у процес трансформації органічних відходів є розміщення під дном садка додаткової ємкості для такої культури. При наявності течії блоки, призначені для розміщення на дні, розташовують відповідно до напрямку переважаючих течій. Взаємне розміщення блоків додаткових культур має передбачати можливість обслуговування садкового господарства, збір врожаю та можливість «перезавантаження» будь-якого з компонентів ІМТА.

### Хід роботи

1. Досліджують оснащення, яке використовується для вирощування додаткових культур в ІМТА на відкритій воді. вивчають особливості конструкцій, способи розміщення та закріплення на воді.

2. Визначають перспективні об'єкти для культивування в акваторії Чорного та Азовського морів.

3. На прикладі садкового господарства із 10 садків діаметром 4 м, розташованих у лінію (відстань між садками – 4 м) планують розміщення носіїв для вирощування обраного виду моллюсків та носіїв для вирощування водоростей.

4. Основні об'єкти розташовують відповідно до умови, що у місці розміщення садкового господарства виражена течія відсутня. Визначають місця, у яких необхідно встановити сигнальні буї, проєктують коридори для руху обслуговуючого водного транспорту.

5. Визначають орієнтовні розміри садкової лінії та господарства, розробленого за концепцією ІМТА.

## Практична робота № 2.

### Розрахунок потенційного навантаження за нітрогеном та фосфором від садкового господарства

**Мета:** отримати навички розрахунку обсягів утворених відходів при вирощуванні риб у садках, що становлять потенційну енергетичну цінність для об'єктів інтегрованої аквакультури.

**Теоретична частина.** Визначення кількості забруднень, що потрапляють у водне середовище, та потенційно є цінним енергетичним ресурсом для об'єктів ІМТА, може бути здійснено двома шляхами – аналітичним методом (шляхом розрахунків) та у практичний спосіб (на основі аналізів концентрацій забруднень діючих господарств). Здебільшого аналітичні розрахунки ґрунтуються на харчових потребах риб (якість та кількість корму) та особливостях метаболізму різних видів (виділення у навколишнє середовище рідких та твердих продуктів обміну). Такий спосіб дозволяє зробити прогноз навантаження на блок відновлення якості води для певного господарства та Аналітичний розрахунок потенційного навантаження від садкового господарства можна здійснити на основі даних, що містяться в окремих літературних джерелах, причому якість кормів в аспекті коливань можливих обсягів відходів буде відігравати ключову роль. Окрім того, неточності, які можуть виникнути при аналітичних розрахунках, пояснюються відмінністю у складі кормів та їх якості, впливу абіотичних факторів на темпи метаболізму риб. До того ж, залежно від типу травної системи риб можна спостерігати й відмінності у продуктах метаболізму. Тому аналітичні розрахунки можна використовувати лише як попередній матеріал для аналізу потенційного рівня забруднень, який дозволить оцінити приблизну можливість щодо вирощування різних об'єктів інтегрованої аквакультури. Для прикладу можна узяти аналітичні дані, отримані для лосося, якого годують кормом відомої торгівельної марки Aller, - адже лососеві є одним з лідерів за обсягами вирощування у садковій аквакультурі, як і корм, що

широко використовується світовими виробниками продукції аквакультури.

Провести аналіз у практичний спосіб в умовах садкової аквакультури виявляється більш проблемною задачею, адже садок характеризується постійним розсіюванням забруднень навколо, швидким змішуванням з умовно чистою водою, яка його оточує. Тому для отримання порівняно точних даних щодо обсягів утворених забруднень необхідно проводити експериментальні дослідження у закритих басейнах.

### Хід роботи

1. На основі аналітичних даних щодо ефективності засвоєння кормів Aller лососевими визначають розрахункові обсяги відходів у формі амонійного нітрогену та фосфатів.

Навантаження за сполуками фосфору визначається за наступними формулами:

$$Load_{PTSS} = 3,7 \cdot F, \text{ (г/доб)};$$

$$Load_{Pdis} = 1,8 \cdot F, \text{ (г/доб)},$$

Де  $F$  – добова кількість внесеного корму, кг/доб;

$Load_{PTSS}$  – обсяги фосфору, що надходять у нерозчиненій формі протягом доби, г;

$Load_{Pdis}$  – обсяги фосфору, що надходять у розчиненій формі протягом доби, г;

Навантаження за сполуками Нітрогену:

$$Load_{NTSS} = 6 \cdot F, \text{ (г/доб)};$$

$$Load_{Ndis} = 39 \cdot F, \text{ (г/доб)},$$

$Load_{NTSS}$  – обсяги нітрогену, що надходять у нерозчиненій формі протягом доби, г;

$Load_{Ndis}$  – обсяги нітрогену, що надходять у розчиненій формі протягом доби, г;



2. На основі даних про біохімічний вміст водоростей ІМТА і співвідношення розчинених форм нітрогену та фосфору приймають раціональні рішення щодо вибору рослинних об'єктів ІМТА.

3. Проводять аналіз рівня засвоюваності сполук фосфору водними тваринами та на основі потенційного навантаження за нерозчиненими фосфатами обґрунтовують рішення щодо доцільності включення блоків з моллюсками, кишковопорожнинними та іншими об'єктами.

### **Практичне заняття № 3. Розробка технологічних карт на виробництво продукції ІМТА**

**Мета:** отримати навички розробляти технологічні карти на відокремлені інноваційні виробничі процеси або виробництво продукції аквакультури за концепцією ІМТА.

**Теоретична частина.** Технологічна карта – це стандартизований документ, що містить необхідну інформацію, інструкції для персоналу, який виконує певний технологічний процес або технічне обслуговування об'єкта. Розрізняють наступні технологічні карти: технологічна карта з виробництва продукції (найбільш застосовані при виробництві продукції аквакультури), техніко-технологічна карта в громадському харчуванні, маршрутно-технологічна карта, будівельна технологічна карта (може використовуватись при гідротехнічних роботах на водному об'єкті, будівництві УЗВ тощо), технологічна карта ремонту (при ремонті машин, складного та енергоємного обладнання), технологічна карта навчальної дисципліни.

Використання технологічних карт дозволяє чітко спланувати виробничий процес, забезпечити його виконання без зайвих втрат часу та з раціональним використанням ресурсів. Окрім того, на основі технологічних карт, незалежно від потужності та організаційної форми підприємства, ефективно

здійснюється планування усього виробництва. Більшість технологічних карт у сільськогосподарському виробництві передбачають чітку взаємодію персоналу із засобами виробництва, технологічним обладнанням, автоматами, внаслідок чого відбувається процес росту продукції до її товарної кондиції. У такому випадку основною задачею технолога-рибовода є створення усіх належних умов для того, щоб процес виробництва завершився у найшвидший період з мінімальними поточними витратами будь-яких ресурсів. Технологічна карта на кожний інноваційний процес у аквакультури має розроблятися відповідно до рівня сучасного технічного забезпечення та з урахуванням екологічних вимог.

У загальному вигляді технологічна карта має містити: операції технологічного процесу, застосовані машини, обладнання, сировину, матеріали та вказівки щодо тривалості процесів. Технологічні карти розробляють на складні та складові частини робіт; роботи, що виконуються за новими технологіями; типові, повторювані технологічні процеси.

При розробці технологічної карти на інноваційний виробничий процес або на процес з використанням інноваційної техніки необхідно передбачити відповіді на наступні питання:

- які операції та роботи необхідно виконувати;
- яка техніка, інструменти, сировина та матеріали необхідні для виконання кожної операції;
- у якій послідовності виконуються операції;
- з якою періодичністю необхідно виконувати операції;
- скільки витрачається часу на виконання кожної операції;
- який результат після виконання кожної операції.

### **Хід роботи**

Перед початком розробки технологічних карт на вирощування продукції ІМТА необхідно ознайомитись з характерними особливостями виробничих процесів у рибництві, дослідити основні відмінності між екстенсивними та інтенсивними технологіями аквакультури. Серед варіантів тем

для розробки технологічних карт можуть бути наступні: технологічна карта на вирощування в ІМТА інноваційних об'єктів – червонопалого австралійського рака, креветки макробрахіум Розенберга; технологічна карта вирощування продукції рослинництва в інтегрованій з РАС системі аквапоніки; технологічна карта висадки рослин та збору врожаю.

**Приклад** основних технологічних операцій при виготовленні комбікормів:

- приймання, складування сировини (зерно, борошно, шрот, мінеральні домішки, риб'яче або кров'яне борошно);
- підготовка сировини (дроблення, відділення плівок, підготовка до дозування окремих компонентів);
- дозування основних компонентів у багатокомпонентних дозаторах відповідно до технологічної карти;
- змішування з додаванням рідких компонентів (олії, тваринні жири);
- кондиціонування (нагрів та зволоження суміші гарячою сухою парою за температурного режиму у 65-75 °С);
- експандування (пропарювання суміші під тиском для знищення мікрофлори та підвищення харчової цінності);
- гранулювання;
- охолодження (з одночасним видаленням надлишкової вологи);
- фінішне напилення цінних добавок (додавання БАРів, преміксів, інноваційних компонентів).

За аналогічним принципом скласти список послідовності виконання окремих технологічних операцій при вирощуванні на відкритій воді водоростей, двостулкових моллюсків, кишковопорожнинних. Виокремити операції, що повторюються періодично, визначити тривалості основних етапів в межах виробничого циклу. Розмежувати автоматизовані роботи та підготувати зведену таблицю для розробки технологічної карти на вирощування обраного об'єкта ІМТА.

## Практичне заняття № 4. Системи контролю параметрів водного середовища в ІМТА відкритих водойм

**Мета:** ознайомитись із сучасними системами моніторингу параметрів середовища комплексів ІМТА, розташованих у відкритій воді.

**Теоретична частина.** Складні комплекси ІМТА, розміщені на значних відстанях від берегу, потребують забезпечення спеціалізованими системами моніторингу, які дозволяють мати вичерпну інформацію про найбільш критичні параметри середовища у місці розміщення комплексу.

Одними із найважливіших параметрів водного середовища в аспекті вирощування продукції аквакультури є температура води та вміст розчиненого кисню. Наприклад, зафіксоване датчиком розчиненого кисню падіння концентрації нижче допустимого рівня може не тільки передатись повідомленням оператору, а й в автоматичному режимі запустити системи аерації води. Попри те, що температурний чинник у відкритих водоймах не піддається регулюванню, зафіксоване відхилення від норми може в автоматичному режимі змінити обсяг згодованого корму або також відобразитись на моніторі оператора. Також достатньо часто використовують датчики показника рН та електропровідності, зміна яких може опосередковано свідчити про певні процеси у водному середовищі.

Інші типи датчиків, розташованих у комплексі ІМТА попереджають про хвильові явища, вітер, сейсмічні коливання чи швидкість течії води. Достатньо важливими в ІМТА є також датчики яскравості освітлення, розташування яких на різних глибинах дозволяє оцінювати також і рівень прозорості води. На відміну від систем, що використовувались для моніторингу у минулому столітті, сучасні комплекси дозволяють мати інформацію у режимі реального часу. Для передавання даних на берег, у тому числі з камер відеоспостереження, використовуються автономні джерела енергії, що складаються з

комплексу фотоелементів, перетворювачів струму, акумуляторних батарей, вітрогенераторів.

Також в аквакультурі поширення набувають пристрої, роблять періодичну фотофіксацію вирощуваних у садку риб та аналізують стан їх здоров'я. При цьому у разі виявлення симптомів ймовірного захворювання система негайно повідомляє оператора про загрозу з представленням фото. А остаточне рішення щодо запровадження лікувально-профілактичних заходів приймає оператор.

### **Хід роботи**

1. Аналізують основні параметри водного середовища (морська вода), які вважаються критичними для успішного вирощування об'єктів аквакультури.

2. Ознайомлюються із способами розміщення датчиків різних параметрів, варіантами зв'язку з пунктом керування. Вивчають конструкції плаваючих та стаціонарних платформ для комплексного моніторингу середовища ІМТА.

3. Визначають пріоритетність параметрів та рівень допустимих коливань кожного в аспекті першочергових дій оператора. Досліджують принципи автоматизованих систем, які без втручання оператора здійснюють корекцію того чи іншого параметра.

4. На представленому викладачем зображенні структури комплексу ІМТА на відкритій воді визначають місця для встановлення датчиків параметрів середовища та визначають потребу у кількості для кожної групи.

**Змістовний модуль 2. Інтегрована мультитрофічна  
аквакультура у системах з рециркуляцією.  
Практична робота № 5.  
Трансформація нерозчинених органічних домішок у  
замкнутому контурі прісноводної ІМТА**

**Мета.** Ознайомитись із конструкціями споруд та видами очисних агентів, перспективних для включення у процеси біотрансформації нерозчинених органічних відходів РАС.

**Теоретична частина.** Сучасні розробки у галузі очищення оборотної води РАС спрямовані на поєднання таких характеристик, як екологічність, ефективність, висока надійність та енергоощадливість. Більшість споруд біологічного очищення, розроблених для очищення господарсько-побутових стоків (біофільтри, контактні резервуари, аеротенки) в умовах УЗВ працюють вкрай неефективно, що проявляється у високих питомих витратах електроенергії, низькій надійності роботи, значних обсягах утворених відходів. Технічні рішення, пов'язані з використанням нових інертних носіїв (завантаження біофільтрів, плавуча насадка аеробних біореакторів), краще пристосованих до показників забруднення оборотної води, лише частково дозволяють інтенсифікувати процес біотрансформації, але аж ніяк не розв'язують дану проблему. Доволі спірним як з економічної, так і з екологічної точки зору є застосування спеціальних ферментів, які системно вводяться у біореактор. Зважаючи на те, що належний рівень очищення оборотної води є запорукою успішного вирощування риб в УЗВ, а збільшення частки підживлювальної води за необхідності зниження показників забруднень до допустимих значень шляхом розбавлення пропорційно відображується на енерговитратах, інноваційні розробки у даному напрямку є вкрай важливими та актуальними.

### **Хід роботи**

1. Визначити потенційні питомі обсяги метаболітів риб, які фактично являють собою основу забруднень оборотної води УЗВ.

Визначити найбільш критичні забруднення за їх формами (хімічним станом).

2. На основі аналізу процесів самоочищення природних водойм виділити групи гідробіонтів, що залучені до біотрансформації продуктів метаболізму риб.

3. Ознайомитись із конструкцією поличного біореактора (рис. 1) та складом його біоценозу, сформованого штучно у процесі запуску споруди. Проаналізувати конструктивні рішення, пов'язані з організацією подачі та відведення води, аерації у споруді, відведенням та трансформацією нерозчинених відходів.

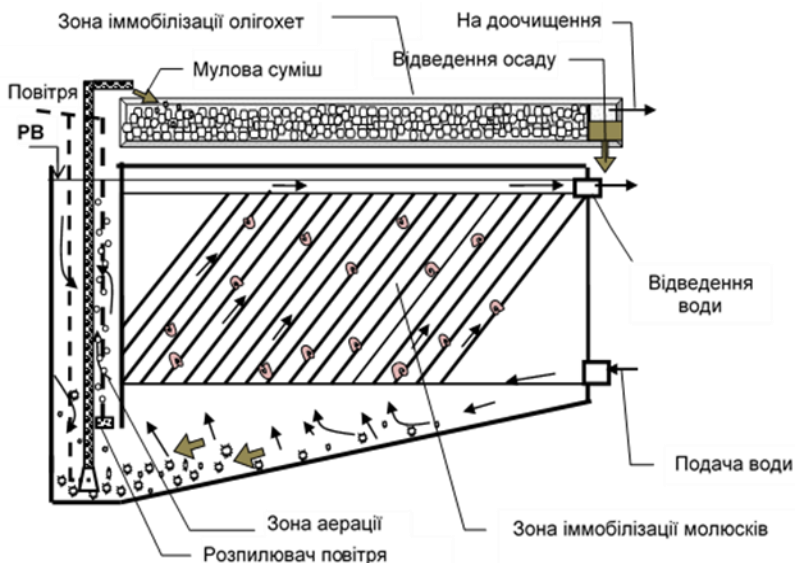


Рис. 1. Схема відстійника, модернізованого у біореактор з похиленими полицями

4. Дослідити, які саме фізичні, механічні та біохімічні процеси процесі відбуваються у біореакторі під дією гідравлічного режиму, системи аерації та біоценозу очисних агентів споруди.

5. Встановити, які саме забруднення можуть бути видалені з оборотної води у даній споруді та запропонувати місце його включення у схемі відновлення якості оборотної води УЗВ.
6. Визначити основні відмінності у роботі даної споруди порівняно з класичним біофільтром або аеротенком.
7. Запропонувати альтернативні рішення та конструкції включно з способом біотрансформації інших забруднень оборотної води РАС, які не видаляються у біореакторі а також утворюються у ньому.
8. Ознайомитись із особливостями технології «Біофлок» для очищення оборотної води, визначити умови реалізації методу у господарствах різних профілів.

### **Практична робота № 6.** **Розрахунок потенційного бюджету нітрогену у формі амоній-йону для системи аквапоніки**

**Мета:** отримати навички з визначення потенційного навантаження на аквапонну систему за нітрогеном у формі амоній-йону та дослідити механізми біотрансформації розчинених сполук нітрогену в межах замкнутого контуру ІМТА.

**Теоретична частина.** Більшість існуючих інтегрованих мультитрофічних аквасистем розроблено на базі морських господарств, що пов'язано з високою харчовою цінністю субпродукції, що вирощується у марикультурі (водорості, голкошкірі, кишковопорожнинні), відсутністю ефективних шляхів видалення утворених метаболітів риб з акваторії, а також жорсткими екологічними вимогами до діяльності таких господарств.

Системи аквапоніки, інтегровані з прісноводними РАС, являють собою лише перший крок до створення комплексної мультитрофічної аквакультури у даному сегменті індустріального рибництва, але навіть він дозволив суттєво підвищити ефективність відновлення якості води порівняно із класичними технологіями, які використовували в РАС з середини ХХ століття. Вирощування рослинницької продукції за таких



технологій також відрізняється незалежністю від природно-кліматичних умов, але, водночас, потребує забезпечення усіх вимог до параметрів середовища культивованих рослин. У першу чергу це стосується створення належного освітлення, контролю вміст у воді мікро- та макроелементів у оптимальних для рослин пропорціях.

### Хід роботи

1. Розглянути схему РАС з інтегрованим комплексом аквапоніки, провести аналіз схеми водного контуру.
2. Визначити головні відмінності між основними блоками, включеними у водний контур, відмінності між режимами роботи споруд.
3. Ознайомитись з особливостями процесу вирощування рослинницької продукції методом гідропоніки та необхідним устаткуванням.
4. Дослідити загальні вимоги рослин до культивування у штучно створеній аквасистемі, ознайомитись із найбільш перспективними видами для вирощування в аквапоніці.
5. Визначити потенційне навантаження за нітрогеном у формі амоній-йону у господарствах з вирощування осетрових, тиліяпії та кларієвого сома та запропонувати варіанти інтегрованої з УЗВ системи аквапоніки.

Навантаження за амонійним Нітрогеном складається з рідких продуктів метаболізму риб та амонійного Нітрогену, що виділяється в процесі мінералізації органічних сполук мікробіотою:

$$Load_{NH4} = Load_{fish} + Load_{sol}$$

де  $Load_{fish}$  – виділений рибами Нітроген у формі аміаку/амоній-йону, г/доб;

$Load_{sol}$  – кількість амонійного Нітрогену, що утворився внаслідок розкладу розчинених органічних сполук гетеротрофною мікробіотою (амоніфікації), г/доб;

Продукція метаболізму риб розраховуємо з виразу:

$$Load_{fish} = 0,065 \cdot F \cdot k_p / 100,$$

де F- кількість корму що вноситься у риблицькі басейни, кг;  
 $k_p$  – вміст білків у кормі, %.

Показник вмісту білків у кормах, призначених для годівлі риб в УЗВ, коливається залежно від об'єкта культивування. У розрахунку можна умовно прийняти, що для вугра, осетрових, тилапії, сомових і креветок він становить відповідно 50, 47, 45, 37 та 42 %.

Середньодобові кількості комбікормів, що вносяться у басейни УЗВ зазначені у таблиці 3.

Таблица 1.

Розрахункові обсяги кормів у риблицьких господарствах

Об'єкт культивування	Середньодобова кількість кормів, кг для варіантів				
	1	2	3	4	5
Бестер	36	75	64	52	80
Нільська тилапія	74	38	57	43	29
Кларієвий сом	120	140	160	90	75
Прісноводна креветка	14	9	7,5	11	12
Вугор	25	45	50	65	35

З урахуванням засвоєння мікробіотою біореактора частини сполук Нітрогену на приріст власної біомаси, навантаження від амоніфікації буде становити:

$$Load_{sol} = 0,007 \cdot F.$$

б. Залежно від отриманого навантаження за амонійним Нітрогеном визначити потенційний обсяг виробництва рослинницької продукції для системи аквапоніки та запропонувати склад основних видів для вирощування.

## Практична робота № 7. Розрахунок потенційного бюджету фосфору для системи аквапоніки

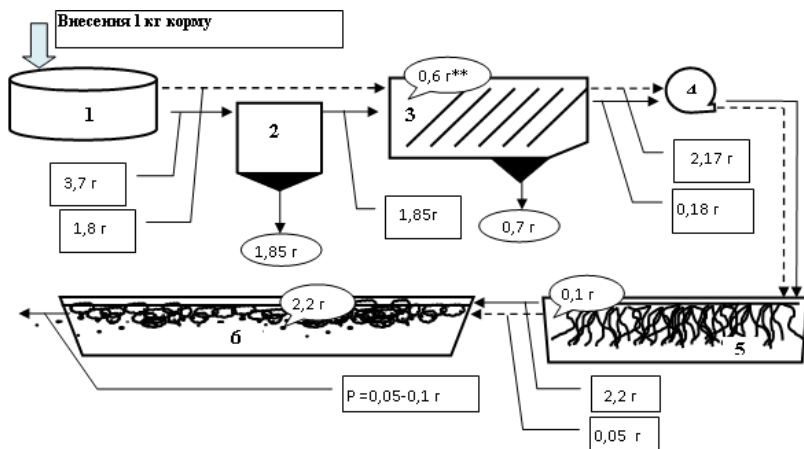
**Мета:** отримати навички з визначення потенційного навантаження на систему аквапоніки за розчиненими й нерозчиненими сполуками фосфору, дослідити механізми біотрансформації сполук фосфору в межах замкнутого контуру ІМТА.

**Теоретична частина.** Серед основних елементів, що містяться у продуктах метаболізму риб, фосфор за обсягами займає друге місце після нітрогену. Попри те, що надлишок фосфатів у воді не становить гострої загрози для здоров'я риб, багатьма дослідженнями підтверджено пряму кореляцію між перевищенням норм за розчиненим фосфором та уповільненням темпів росту риб. На відміну від нітрогену, основна частина фосфору виводиться з метаболітами у нерозчиненій формі. Тому при ефективній роботі споруд механічного очищення ці сполуки можуть бути практично повністю вилучені з оборотного контуру. Водночас, фосфор, як біогенний елемент, несе загрозу гідросфері, тому такі відходи не можна скидати у водойми без попереднього очищення. З точки зору концепції ІМТА фосфор є також цінним компонентом, втрата якого не тільки загрожує водним екосистемам, а й знижує ефективність аквакультури. Тому важливою задачею сучасних інтегрованих комплексів є біотрансформація усіх форм фосфору у цінну біомасу об'єктів ІМТА. На відміну від ІМТА відкритих водойм, де фосфор може ефективно трансформуватись у біомасу харчової продукції (водорості, кишковопорожнинні, молюски), у прісноводних комплексах поки не знайдено такої альтернативи. Але враховуючи потребу будь-якого господарства аквакультури у якісних кормах, можна стверджувати про економічну доцільність щодо трансформації сполук фосфору у біомасу кормових організмів. Підбір таких цільових очисних агентів має ґрунтуватись не тільки на їх кормовій цінності, а й

біотрансформаційному потенціалі, можливості ефективного культивування у штучних екосистемах.

### Хід роботи

1. На основі схеми трансформації сполук фосфору в процесі багатостадійного очищення оборотної води РАС визначають групи гідробіонтів, які володіють найвищим біотрансформаційним потенціалом за розчиненими та нерозчиненими сполуками фосфору.



<p>*джерело: Biomar and the Environmental Protection Agency, Denmark.                  ** джерело: Crab R. et al., 2007.                  1- Рибницькі басейни                  2 - Сітчастий фільтр                  3 - Біореактор з молюсками                  4 - Насос                  5 - Біореактор з вищими ракоподібними                  6 - Фітореактор з рясковими</p>	<p>→ Розчинені сполуки                  - - - - - Нерозчинені сполуки                  ○ - Асиміляція елемента у біомасу очисного агента                  ○ (0,7 г) - Видалення із системи у вигляді твердих відходів</p>
---	---

Рис. 1. Схема біотрансформації сполук фосфору у процесі багатостадійного очищення оборотної води РАС.

2. Розраховують кількість фосфору, яка трансформується у біомасу очисних агентів ІМТА, та обсяг, який втрачається у вигляді твердих відходів.
3. На основі аналізу біохімічного складу найбільш популярних об'єктів аквапоніки визначають рівень лімітування розвитку рослин на фосфором, пропонують варіанти кроків для подолання потенційного дефіциту.

### **Практична робота № 8.** **Вирощування додаткових культур ІМТА** **в інтегрованих з РАС комплексах**

**Мета:** вивчити сучасні тенденції розвитку інтенсивної аквакультури, пов'язані з збереженням довкілля та раціональним використанням ресурсів, ознайомитись із прикладами реалізації концепції інтегрованої мультитрофічної аквакультури прісноводних РАС.

**Теоретична частина.** Розвиток сучасної інтенсивної аквакультури орієнтований на енергоощадливі, екологічно виважені та збалансовані підходи до організації вирощування продукції рибництва, й нерибних об'єктів зокрема. Глобальні проблеми, пов'язані з виснаженням біоресурсів гідросфери, зростання залежності сучасної аквакультури від сировини для комбікормів та потенційна загроза забруднення гідросфери відходами процесів виробництва аквакультури вже на початку ХХІ століття змусили науковців провідних країн світу замислитись над подальшими перспективами розвитку галузі. Оскільки зростання обсягів виробництва аквакультури є безальтернативним процесом на тлі постійно зростаючої світової потреби у продовольстві та тотальному виснаженню біоресурсів Світового океану, новітні технології мають забезпечити максимально ефективного використання енергетичного потенціалу кормів, що використовуються для вирощування об'єктів аквакультури, та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Сучасна концепція інтегрованої мультитрофічної

аквакультури передбачає конверсію незасвоєних рибами цінних компонентів комбікормів та продуктів їх метаболізму, основну частину з яких становлять біогенні елементи нітроген й фосфор, у додаткову, супутню продукцію, яка може бути вирощена шляхом використання таких відходів. Таким чином, відбувається не тільки зростання ефективності використання кормів, а й знижується рівень викидів біогенних елементів у гідросферу. Реалізація даної концепції потребує достатньо складних технологічних та технічних рішень, які з точки зору економічної ефективності не завжди дають позитивний ефект. Проте, у глобальному масштабі дана концепція виглядає чи не єдиною можливим одночасним рішенням сировинної та екологічної проблем. Окрім того, для господарств з оборотним водопостачанням концепція ІМТА може забезпечити додаткові заощадження на комбікормах, до відобразиться на пропорційному зниженні собівартості продукції.

### Хід роботи

1. На основі традиційної схеми водоочищення УЗВ (рис. 1) розробити пропозиції щодо модернізації схеми відновлення якості оборотної води відповідно до сучасних підходів концепції ІМТА.

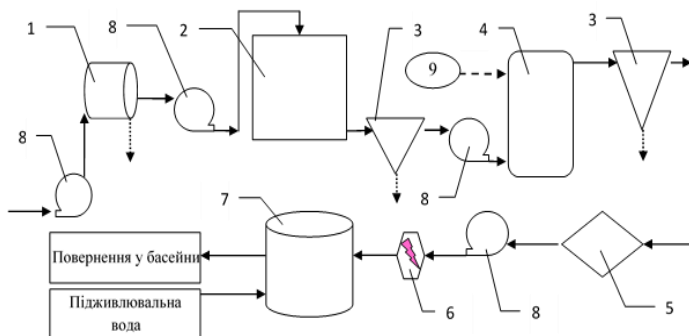


Рис. 1. Схема традиційної технології очищення оборотної води РАС: 1 – барабанний фільтр; 2 – біофільтр; 3 – відстійник; 4 –

денітрифікатор; 5 – блок стабілізації рН; 6 – знезараження; 7 – змішувальна ємність; 8 – насос; 9 – дозатор метанолу.

2. Для розрахунку потенційної економічної доцільності інновації відповідно до концепції ІМТА використати довідкову таблицю щодо частки кормових організмів у раціоні найбільш популярних об'єктів індустріального рибництва (табл. 1).

Таблиця 1.

Частка окремих кормових організмів у раціоні об'єктів РАС.

Група риб	Ряска мала	Вольфія	Моллюски	Креветка	Аулофорус
<b><i>Кларієвий сом</i></b>					
Плідники	5-10 %	-	До 30%	-	-
Товарна група риб	5-20 %	-	До 30%	Без обмежень	-
Молодь до 20 г	5-10%	10-20%	20-25%	Без обмежень	-
Молодь до 4 г	-	5%	-	-	80-90%
<b><i>Тилянїї</i></b>					
Плідники	10-20%	-	Без обмежень	-	-
Товарна група риб	5-15%	5-10%	Без обмежень	-	-
Молодь до 10 г	5%	10%	До 50%	Без обмежень	-
Молодь до 2 г	-	5%	-	-	Без обмежень

3. Проаналізувати проблемні аспекти при реалізації інноваційних підходів концепції ІМТА у господарствах з вирощування осетрових та форелі, розглядаючи дві схеми водозабезпечення: СОВ та РАС. Запропонувати альтернативні рішення чи інші варіанти ефективної утилізації утворених відходів у таких господарствах на основі аналізу потенційної

цінності додаткових об'єктів в якості кормових організмів для РАС.

4. Здійснити розрахунок потенційної економії за рахунок зниження потреби у комбікормах у разі згодовування риbam біомаси вирощених в межах блоку очищення оборотної води кормових організмів.

## Практична робота № 9

### Організація штучного освітлення системи аквапоніки

**Мета:** дослідити сучасні освітлювальні прилади для вирощування рослин в аквапоніці, отримати навички з підбору освітлювальних приладів, організації режиму світлового дня залежно від вимог рослин та виробничих особливостей РАС.

**Теоретична частина.** Система аквапоніки, як технологічна складова ІМТА замкнутих комплексів, висуває додаткові вимоги щодо умов утримання. Світло у житті рослин відіграє набагато більш важливу роль, ніж у житті інших об'єктів ІМТА. Тому фактично якість освітлення поряд з іншими важливими для рослин чинниками визначатиме ефективність видалення із води найбільш токсичних для риб форм власних метаболітів, - амонійного нітрогену та аміаку.

Діодні лампи вже фактично увійшли в статус безальтернативного джерела штучного освітлення у більшості сфер побуту та виробництва. Додаткові переваги, пов'язані з можливістю підбору оптимального спектру за рахунок різних кольорів діодів та ефективного регулюванні інтенсивності освітлення, дозволяють сучасним системам аквапоніки та гідропоніки суттєво знизити собівартість продукції. У більшості випадків для системи освітлення використовують фабричні вироби, спектр яких адаптований саме для вирощування рослин в аквапоніці чи гідропоніці. Проте, система штучного освітлення може бути зібрана з ламп широкого вжитку. Наявність у приміщенні, де вирощуються рослини, прозорого даху чи вікон створює умови для заощадження електроенергії за умови організації комбінованого освітлення. Додаткова перевага такої



системи полягає у тому, що діодні лампи можуть забезпечити додаткове освітлення у спектрі, якого бракуватиме окремим видам рослин (червоний для вегетації). Для оптимізації режиму штучного освітлення та організації світового дня використовують регулятори яскравості, вбудовані у світильник, електронні або механічні таймери.

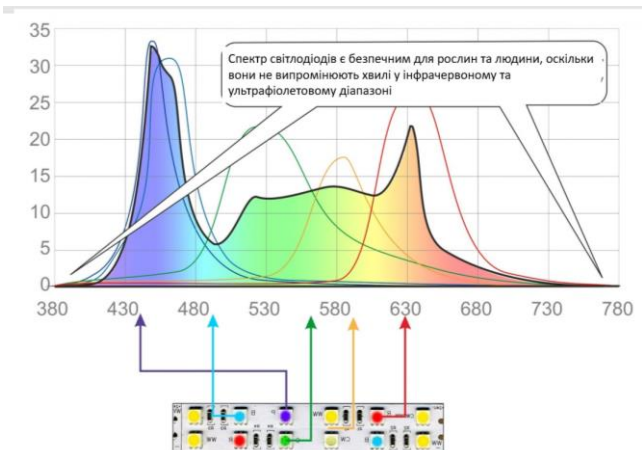


Рис. 1. Характеристика світлового потоку діодного світильника, оснащеного світлодіодами з різною кольоровою гамою.

### Хід роботи

1. Досліджують конструкції діодних світильників, призначених для вирощування рослин у гідропоніці та аквапоніці. Оцінюють важливість для системи аквапоніки можливість моделюванню спектра завдяки змінним модулям різних спектрів. Вивчають способи та рекомендації щодо їх монтажу.

2. Вивчають характеристики світлового потоку діодних світильників, оснащених світлодіодами різних кольорів. Порівнюють наявну характеристику з рекомендаціями щодо підбору спектрів освітлювальних приладів у системах аквапоніки та гідропоніки.

3. Ознайомлюються з рекомендаціями щодо підбору світильників для окремих груп рослин, вивчають дані щодо оптимальних параметрів освітлення при вирощуванні основних видів в аквапоніці. Порівнюють паспортні дані світильників різних виробників за наступними параметрами: потужність, яскравість (інтенсивність) освітлення.

4. Вивчають способи регулювання інтенсивності діодних світильників та організації автоматичного вмикання-вимикання системи. Досліджують схеми комбінованого освітлення з використанням природної інсоляції. Роблять висновки про переваги та недоліки різних систем.

### **Практична робота № 10.**

#### **Організація додаткового підживлення рослин в межах системи аквапоніки**

**Мета:** ознайомитись із способами введення у систему підживлюючих розчинів для рослин та конструкціями автоматичних дозаторів.

**Теоретична частина.** Різні щільності посадки риб у РАС та відмінності у програмах годівлі суттєво впливають на обсяги потенційно цінних для рослин сполук, що надходять з водою від рибницьких басейнів. Придатність технологічної води аквакультури для рослин визначається також і станом розчинених домішок, адже органічні речовини за традиційними уявленнями практично не засвоюються рослинами. При цьому сучасні умови безгрунтового вирощування не дозволяють сподіватись на те, що в межах прикореневої зони рослин будуть утворюватися потужні агломерації з симбіотичної мікрофлори. У такому випадку утворення доступних рослинам сполук буде залежати від ефективності споруд біологічного очищення РАС (нітрифікація, окиснення).

Максимально можливе надходження поживних речовин можна уявити як різницю між обсягами згодованих кормів та засвоєними рибами компонентами. Продукція метаболізму риб на незасвоєні часточки корму (неперетравлені компоненти,

пилоподібна фракція) фактично і є той потенціал, на який може розраховувати блок гідропоніки. Додаткові елементи вносяться у систему для попередження лімітуючої дії будь-якого з елементів живлення рослин, окрім нітрогену, адже максимально глибоке видалення з води амоній-йону є пріоритетною задачею більшості рослинницьких комплексів, інтегрованих з РАС. Обмеження стосовно застосування різних розчинених добрив пов'язані з потенційною небезпекою для самопочуття риб. Тому точність введення та правильність розрахунків мають виключне значення для успішного функціонування замкнутої системи ІМТА. Найбільш гостро стає потреба у додатковому живленні плодкових культур, адже тоді виникає потенційний дефіцит таких елементів, як калій, магній, залізо та ін.

### **Хід роботи**

1. Ознайомлюються з рекомендаціями виробників добрив щодо використання окремих типів рідких добрив у системі аквапоніки. Визначають потенційно дефіцитні елементи для інтегрованої з РАС аквапоніки залежно від обраної культури.

2. Вивчають обмежуючі чинники щодо застосування окремих добрив у спільному контурі з рибницькою системою. Досліджують шляхи зниження ризиків негативного впливу на риб підживлюючих розчинів.

3. Ознайомлюються з конструкціями сучасних автоматичних дозаторів для внесення розчинів у систему аквапоніки. Відповідно до рекомендацій та аналітичних розрахунків визначають потенційну потребу у додаткових елементах та вивчають механізм програмування автодозаторів на внесення добрив.

4. Ознайомлюються із схемою внесення добрив у системі аквапоніки, що передбачає часткове розділення потоків. Визначають переваги такого способу та проблемні аспекти реалізації на практиці. Роблять відповідні висновки.

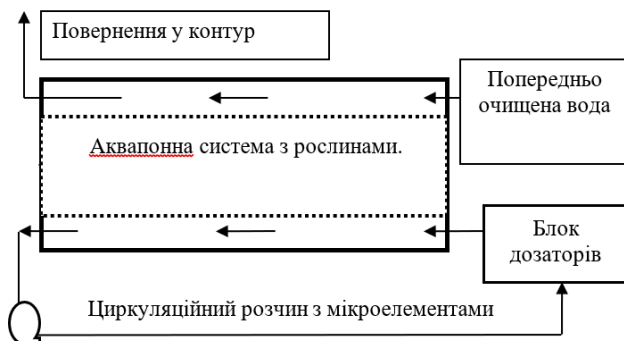


Рис. 1. Схема введення підживлюючих розчинів при частковому розділенні потоків системи аквапоніки.

5. Досліджують схеми автоматизованої підтримки концентрацій окремих сполук, що мають електронні датчики концентрацій, та дозволяють вносити необхідну кількість реагентів пропорційно потребі. Порівнюють зі системами, що забезпечують внесення реагентів за встановленою програмою у визначеній кількості.

### Практична робота №11.

#### «Краш-тест» інноваційного проекту в ІМТА (ділова гра)

**Мета:** отримати навички з розробки, представлення та захисту стартапу інноваційного проекту галузі інтегрованої мультитрофічної аквакультури, а також навчитись знаходити раціональні рішення при виявленні слабких ділянок у розробленому бізнес-плані.

**Теоретична частина.** «Краш-тест» являє собою специфічну форму колективного аналізу інноваційної розробки або стартапу, яка дозволяє у динамічній формі безпосереднього спілкування з автором ідеї потенційних інвесторів, фахівців у даній галузі а також відповідальних за фінансування проектів оцінити рівень підготовки бізнес-плану, глибину аналізу основних ризиків та спроможність автора інновації запропонувати альтернативні рішення/знайти способи виходу із

потенційних проблемних ситуацій. Більшість інноваційних проєктів у галузі аквакультури стосуються реалізації новітніх технологій вирощування, виробництва комбікормів або водоочищення/водопідготовки. ІМТА є відносно новою концепцією, яка передбачає суттєве розширення видового різноманіття об'єктів аквакультури, впровадження інновацій та науково-технічних розробок на усіх рівнях системи. Тому для успішної реалізації таких проєктів необхідно ретельно проаналізувати їх потенційний ефект, рівень «життєздатності» та ризиків, які виникнуть на різних етапах впровадження.

**Хід роботи.** Академічна група розділяється на рольові групи, що можуть складати 1-4 осіб, серед них формується «експертна група», група «здобувачів», група «інвесторів». Студент-здобувач розробляє інноваційний проєкт у галузі ІМТА та готує його коротку презентацію. Проєкт заслуховується «експертною групою», яка складається з викладача дисципліни та студентів, що виявили бажання долучитися до групи «експертів». Після презентації «експерти» по чергово задають критичні запитання, намагаючись визначити слабкі сторони проєкту, його дієздатність та перспективність. Викладачем оцінюється як рівень підготовки студентом-доповідачем розробленого проєкту, так і влучність заданих питань з боку «експертної групи», креативність пропозицій щодо подолання виявлених проблемних аспектів проєкту, зниження рівня найбільш критичних ризиків; раціональність рішень «інвесторів». У ході ділової гри доповідачі-здобувачі змінюються, причому серед них можуть бути також і представники «групи експертів» або «інвесторів». Обов'язковою умовою є лише неможливість голосування учасника групи експертів або інвесторів за власний проєкт під час остаточного підведення підсумків. Загальна оцінка рівня представлених інноваційних проєктів та вибір кращого здійснюється шляхом голосування, відповідно до якого розподіляється кількість так званих «інвестиційних балів». Наприклад, для навчальної групи у 12 студентів передбачено 30 балів. З них по 2 бали нараховуються кожному учаснику «експертної групи», (окрім

викладача), які задають критичні запитання та виявляють слабкі сторони розробки; 3 бали за презентацію власного інноваційного проекту, розроблену згідно вимог; по 0,2-2 бали кожному «інвестору», якщо він уподобав для себе інвестицій проект, що посів I-III місце за результатами голосування; 5 бонусних балів автору за найкращий інноваційний проект (визначається колегіально); решта – по 0,2-1 балу за кваліфіковане питання або креативну відповідь/пропозицію відповідно по поданого на розгляд проекту. Не виключається можливість представлення інноваційного проекту не одним автором, а колективом студентів, у такому разі розподіл зароблених балів здійснюється за домовленістю авторського колективу.

Для підвищення рівня зацікавленості студентів та реалістичності проекту, до ділової гри можна залучати представників з виробництва, які можуть виконувати роль «інвесторів» або «експертів». Також з боку потенційних роботодавців або представників виробничої сфери може бути сформульоване технічне завдання/поле для інвестиційних розробок. У такому разі студенти поодиночці або у складі авторської групи розробляють інвестиційну пропозицію під конкретно сформульованими виробничими умовами/завданнями, а рівень їх розробок оцінюється колегіально викладачем та запрошеною особою з відповідним розподілом балів між студентами-учасниками гри.

## Рекомендована література

1. Goddek S., Joyce A., Kotzen B., Burnell G. M. Editors Aquaponics Food Production Systems: Combined Aquaculture and Hydroponic Production Technologies for the Future : Springer Nature Switzerland AG, 2019. 619 p.
2. Ridler N., Hishamunda N. Promotion of sustainable commercial aquaculture in sub-Saharan Africa : Policy framework, vol 1. Rome : FAO Fisheries Technical Paper No. 408 (1), 2001. 67 p.
3. Beyond Fish Monoculture – Developing Integrated Multi-Trophic Aquaculture in Europe / Hughes A. et al. : IDREEM Final Report, 2016. 24 p.
4. Dong S., Fang J., Jansen H.M., Verreth, J. Review on integrated mariculture in China. Workpackage: support the application of integrated multi-trophic aquaculture (IMTA) : ASEM Aquaculture Platform, 2013.
4. Vilmin L., van Duren L. A. Modelling interactions and feedbacks between Integrated Multi-Trophic Aquaculture and the receiving environment in the North and Aegean Seas [Abstract] : Aquaculture Europe, 2020.
5. Кононцев С. В. Саблій Л. А., Гроховська Ю. Р. Екологічна біотехнологія очищення стічних вод та культивування кормових організмів : монографія. Рівне : НУВГП, 2011. 151 с.
6. Aquaculture. Farming Aquatic Animals and Plants / John S. Lucas, Paul C. Southgate, Craig S. Tucker : John Wiley & Sons Ltd, Third Edition, 2019. 637 p.
7. Aquaculture and Fish Farming : Cataloging-in-Publication Data Aquaculture and fish farming / Edited by Brendan Marshall : Library Pres, 2017. 215 p.
8. Саблій Л. А., Коренчук М. С., Кононцев С. В., Гроховська Ю. Р. Реалізація концепції системи інтегрованої мультитрофічної аквакультури у прісноводних рибницьких господарствах з замкнутим водопостачанням. *Вісник Хмельницького Національного Університету. Серія: Технічні науки.* 2017. №5. С. 89–93.