

**БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

07.07 – КР. 1973 «С» 2023.31.10. 020 ПЗ

**МЄНЯЙЛОВОЇ ВЕРОНІКИ ОЛЕКСАНДРІВНИ**

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет тваринництва та водних біоресурсів

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри аквакультури

(назва кафедри)

В. Бех

(підпис)

(ПІБ)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Технологічні аспекти аквапоніки, як інноваційної технології аквакультури

Спеціальність 207 «Водні біоресурси та аквакультура»  
(код і назва)

Гарант освітньої програми

К.С.-Г.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Хижняк М.І.

(ПІБ)

Керівник бакалаврської  
кваліфікаційної роботи

К.С.-Г.Н., ДОЦЕНТ

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Кононенко І.С.

(ПІБ)

Виконала

(підпис)

Меняйлова В.О.

(ПІБ студента)

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет тваринництва та водних біоресурсів**

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри аквакультури,  
Д.с.-Г.Н., професор** \_\_\_\_\_ **Бех В.В.**  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студентки**

**Меняйлової Вероніці Олександрівні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 207 «Водні біоресурси та аквакультура» \_\_\_\_\_

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Технологічні аспекти аквапоніки, як інноваційної технології аквакультури», затверджена наказом ректора НУБіП України від «31» жовтня 2023 р. № 1973 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру «15» травня 2024 р.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: наукові публікації за темою роботи, дані з сайтів виробників спеціалізованого обладнання та інформаційно-аналітичних фахових спільнот, публікації Державного агентства України з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм

Перелік питань, які потрібно розробити: провести огляд наукових джерел щодо технологічних аспектів функціонування аквапонічних систем, як інноваційного напрямку розвитку аквакультури; визначити переваги та недоліки комерційного використання систем аквапоніки; дослідити вплив розвитку систем аквапоніки на реалізацію 17 Глобальних цілей сталого розвитку ООН; дослідити виробничі аспекти технології аквапоніки: конструкцію та принципи роботи систем, роль світла, особливості перебігу біологічної фільтрації води та моніторинг і контроль якості води; проаналізувати конструктивно-технологічні особливості організації взаємодії об'єктів у системах аквапоніки, зокрема, принципи підбору об'єктів для вирощування, види риб та рослин, які найбільш ефективні для аквапонічних систем.

Перелік графічних документів: рисунки, таблиці

Дата видачі завдання « 03 » листопада 2023 р.

**Керівник бакалаврської**

**кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Завдання прийняв до виконання**

\_\_\_\_\_

(підпис)

Кононенко І.С.

(прізвище та ініціали)

Меняйлова В.О.

(прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

<b>РЕФЕРАТ.....</b>	<b>6</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>8</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. РОЛЬ І ЗНАЧЕННЯ АКВАПОНІКИ ЯК ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АКВАКУЛЬТУРИ.....</b>	<b>11</b>
1.1. Аквапоніка як інноваційний напрямок розвитку аквакультури.....	11
1.2. Комерційне використання систем аквапоніки: переваги та недоліки.....	16
1.3. Аквапоніка і реалізація 17 Глобальних цілей сталого розвитку ООН.....	20
<b>РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>28</b>
<b>РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>30</b>
3.1. Технологія аквапоніки: виробничі аспекти.....	30
3.1.1. Конструкція та принципи роботи аквапонічних систем.....	31
3.1.2. Роль світла в аквапоніці .....	34
3.1.3. Особливості перебігу біологічної фільтрації (нітрифікації) води в аквапонічній системі .....	37
3.1.4. Моніторинг та контроль якості води в аквапонічних системах..	43
3.1.5. Принципи взаємодії живих організмів і технічних систем в аквапоніці.....	46
3.2. Конструктивно-технологічні аспекти організації взаємодії об'єктів у системах аквапоніки.....	48
3.2.1. Принципи підбору об'єктів для вирощування в системах аквапоніки .....	49
3.2.2. Види риб, оптимальні для вирощувальних установок аквапонічних систем.....	50
3.2.3. Рослини, які здатні ефективно функціонувати у системі аквапоніки.....	52
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>56</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>60</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>64</b>

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота на тему «Технологічні аспекти аквапоніки, як інноваційної технології аквакультури» включає вступ, основну частину з 3 розділів, висновки та літературні джерела.

Робота містить 10 рисунків, 3 таблиці. Список використаної літератури налічує 36 джерел. Об'єм дипломної роботи – 55 сторінок.

**Актуальність теми.** Актуальність дослідження технологічних аспектів аквапоніки, як інноваційної технології аквакультури, набуває суттєвого значення в контексті сучасних глобальних викликів у сфері забезпечення стабільної продовольчої безпеки, особливо продукції належної кількості та якості в умовах значних кліматичних змін. Зростаюча чисельність населення посилює тиск на аграрний сектор для забезпечення стабільного та ефективного виробництва продовольства, акцентуючи увагу на збільшенні вимог до якості харчових продуктів.

**Мета досліджень:** аналіз технологічних аспектів функціонування аквапонічних систем, з урахуванням їх інноваційних складових.

**Об'єкт дослідження:** технологічні процеси виробництва агропродукції в аквапонічних системах.

**Предмет дослідження:** інноваційні особливості і специфічні характеристики технологічних процесів виробництва агропродукції в аквапонічних системах.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань у процесі дослідження використано комплекс загально-наукових методів, а саме: аналіз літературних джерел; синтез і узагальнення даних; емпіричні дослідження; статистичний аналіз; аналіз та оцінка практичних застосувань технології аквапоніки у реальних умовах; експертні оцінки.

*Інформаційною базою дослідження є:* статистичні дані, наукові публікації вітчизняних та зарубіжних дослідників щодо проблем використання аквапонічних систем, інформація з інтернет-ресурсів. В якості інформаційної основи аналітичної частини дослідження (другий розділ роботи) слугували дані, що були зібрані автором за джерелами виробників аквапонічних систем, та

підприємств, що їх використовують у своїй господарській діяльності.

**Завдання дослідження:**

1. провести огляд наукових джерел щодо технологічних аспектів функціонування аквапонічних систем, як інноваційного напрямку розвитку аквакультури;
2. визначити переваги та недоліки комерційного використання систем аквапоніки;
3. дослідити вплив розвитку систем аквапоніки на реалізацію 17 Глобальних цілей сталого розвитку ООН;
4. дослідити виробничі аспекти технології аквапоніки: конструкцію та принципи роботи систем, роль світла, особливості перебігу біологічної фільтрації води, моніторинг і контроль якості водного середовища;
5. проаналізувати конструктивно-технологічні особливості організації взаємодії об'єктів у системах аквапоніки, зокрема, принципи підбору об'єктів для вирощування, види риб та рослин, які найбільш ефективні для аквапонічних систем.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практичне значення отриманих результатів полягає в аналізі перспективних напрямів подальшого застосування аквапонічних систем на основі підвищення їх ефективності.

**Ключові слова:** *аквапоніка, об'єкти аквакультури, водні організми, рослини, ресурси, бактерії, продукція, нітрити, нітрати, екосистема, екологічність.*

## ВСТУП

Актуальність дослідження технологічних аспектів аквапоніки, як інноваційної технології аквакультури, набуває суттєвого значення в контексті сучасних глобальних викликів у сфері забезпечення стабільної продовольчої безпеки, особливо продукції належної кількості та якості в умовах значних кліматичних змін. Зростаюча чисельність населення посилює тиск на аграрний сектор для забезпечення стабільного та ефективного виробництва продовольства, акцентуючи увагу на збільшенні вимог до якості харчових продуктів.

В умовах, що сформувалися, коли сталий розвиток і збереження природних ресурсів стають все більш необхідними, нові методи ведення сільського господарства та виробництва продуктів харчування є предметом поглиблених досліджень і впроваджень. Однією із таких інноваційних підходів є аквапоніка, яка є не тільки джерелом свіжої та здорової їжі, а й забезпечує можливість зменшити негативний вплив сільського господарства на навколишнє середовище та оптимізувати використання ресурсів. Із зростанням інтересу до аквапоніки виникають нові проблеми та питання, які потребують наукової уваги та досліджень.

Систематичні дослідження технологічних аспектів аквапоніки є необхідними з огляду на потребу пошуку шляхів вдосконалення даного методу та підвищення її продуктивності. Зокрема, вивчення оптимальних технологічних параметрів функціонування аквапонічних систем, вдосконалення методів контролю якості водного середовища, генетична селекція рослин та риб для вирощування в аквапоніці, вдосконалення кормів та технології годівлі, а також впровадження систем автоматизації та моніторингу, що в сукупності сприятимуть підвищенню ефективності аквапонічних систем.

**Мета і завдання дослідження.** *Метою* кваліфікаційної роботи є аналіз технологічних аспектів функціонування аквапонічних систем, з урахуванням їх інноваційних складових. Досягнення зазначеної мети зумовлено виконанням наступних завдань:



6. провести огляд наукових джерел щодо технологічних аспектів функціонування аквапонічних систем, як інноваційного напрямку розвитку аквакультури;

7. визначити переваги та недоліки комерційного використання систем аквапоніки;

8. дослідити вплив розвитку систем аквапоніки на реалізацію 17 Глобальних цілей сталого розвитку ООН;

9. дослідити виробничі аспекти технології аквапоніки: конструкцію та принципи роботи систем, роль світла, особливості перебігу біологічної фільтрації води, моніторинг і контроль якості водного середовища;

10. проаналізувати конструктивно-технологічні особливості організації взаємодії об'єктів у системах аквапоніки, зокрема, принципи підбору об'єктів для вирощування, види риб та рослин, які найбільш ефективні для аквапонічних систем.

*Об'єктом дослідження є технологічні процеси оптимального функціонування систем аквапоніки.*

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань у процесі дослідження використано комплекс загально-наукових методів, а саме: аналіз літературних джерел; синтез і узагальнення даних; емпіричні дослідження; статистичний аналіз; аналіз та оцінка практичних застосувань технології аквапоніки у реальних умовах; експертні оцінки.

*Інформаційною базою дослідження є:* статистичні дані, наукові публікації вітчизняних та зарубіжних дослідників щодо проблем використання аквапонічних систем, інформація з інтернет-ресурсів. В якості інформаційної основи аналітичної частини дослідження (другий розділ роботи) слугували дані, що були зібрані автором за джерелами виробників аквапонічних систем, та підприємств, що їх використовують у своїй господарській діяльності.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичне значення отриманих результатів полягає в аналізі перспективних напрямів подальшого застосування аквапонічних систем на основі підвищення їх ефективності.

**Апробація отриманих результатів.** Результати досліджень, викладені у

бакалаврській кваліфікаційній роботі, були оприлюднені на ряді міжнародних наукових і науково практичних конференцій та семінарів. За результатами дослідження були підготовлені і опубліковані тези перелік яких наведено в Додатку А.

**Обсяг і структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається із завдання, вступу, трьох розділів, висновків, викладених на 52 сторінках, списку використаних джерел з 36 найменувань на 4 сторінках та 1 додатку на 1 сторінці. Загальний обсяг роботи – 59 сторінок, включаючи 3 таблиці і 10 рисунків.

## РОЗДІЛ 1.

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. РОЛЬ І ЗНАЧЕННЯ АКВАПОНІКИ ЯК ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АКВАКУЛЬТУРИ

#### 1.1. Аквапоніка як інноваційний напрямок розвитку аквакультури.

Розведення риби та інших водних організмів, також відоме як аквакультура, є важливою галуззю, що розвивається у всьому світі та забезпечує збільшення продуктивності і поліпшення якості рибних продуктів, а також зменшення негативного впливу на природні ресурси у порівнянні з традиційними методами вилову. Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (ФАО, 1988 р.) визначає, що «аквакультура – це вирощування водних організмів, включаючи рибу, моллюсків, ракоподібних та водні рослини. Така діяльність передбачає певну форму втручання у процес вирощування для підвищення продуктивності, таку як регулярне насадження, годівля, захист від хижаків і т. д. Також вирощування передбачає індивідуальну або корпоративну власність на вирощуваний запас. З точки зору статистики, водні організми, які збираються в результаті особистої чи корпоративної діяльності особи, яка володіла ними протягом усього періоду їх вирощування, вважаються аквакультурою, тоді як водні організми, які можуть бути експлуатовані громадськістю як ресурси загального користування, з відповідними ліцензіями або без них, є результатом рибальства» [35].

Органічну продукцію аквакультури отримують екологічним шляхом на ділянках, вільних від будь-яких забруднюючих речовин. При цьому забезпечуються такі значення фізико-хімічних параметрів, які гарантуватимуть підтримання здоров'я об'єктів аквакультури та задоволення їх поведінкових потреб. Культивування об'єктів аквакультури проводиться у воді належної якості з відповідним для кожного окремого виду риб рівнем розчиненого у воді кисню. Умови культивування передбачають забезпечення ефективного використання наявних ресурсів органічних добрив для вирощувальних та нагульних ставів.

Використання штучних кормів для вирощування товарної продукції

аквакультури повинно здійснюватися з дотриманням умов органічного походження кормового матеріалу, рибного борошна та жиру з продуктів переробки органічної аквакультури.

Отримання органічної продукції базується на вирощуванні об'єктів аквакультури, які походять з органічного маточного стада та органічного господарства. У разі відсутності таких об'єктів, використовуються виловлені дикі водні біоресурси чи неорганічні об'єкти аквакультури лише з метою годування, покращення генетичного матеріалу, а також в разі відсутності доступу до органічної аквакультури.

Результати оцінки стану та умов навколишнього природного середовища повинні гарантувати прийнятність органічного виробництва продукції (сировини) аквакультури, а також наступних інтересів громадськості:

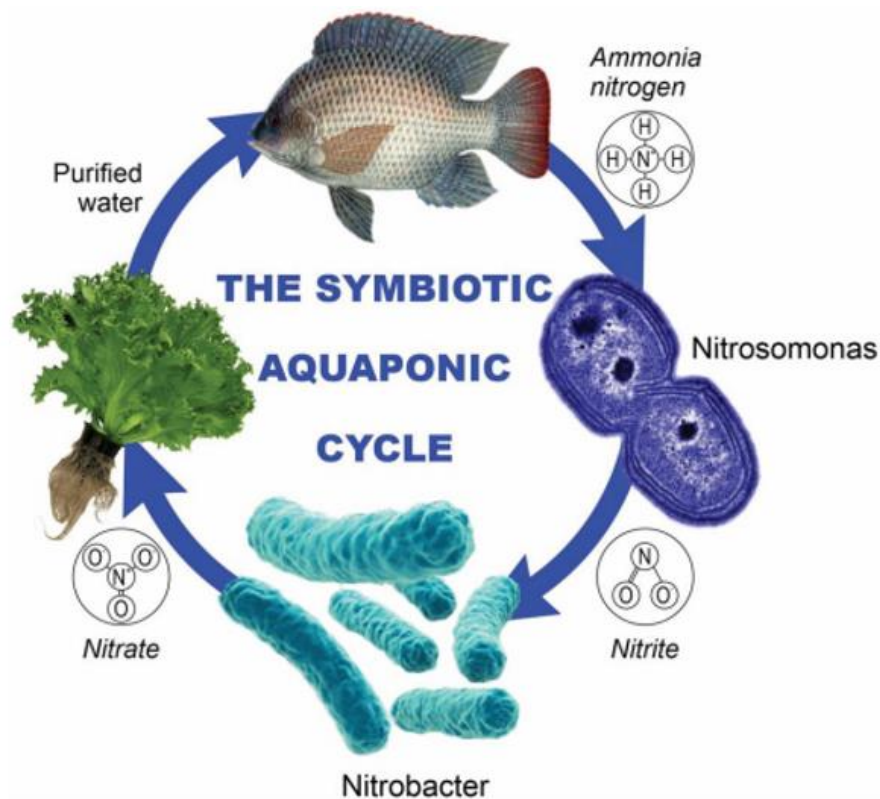
- урахування місцевого або регіонального екологічного балансу під час вибору продукції для виробництва;
- підтримання у здоровому стані об'єктів аквакультури шляхом стимулювання природного імунного захисту, а також вибір відповідних кормів і методів господарювання;
- підтримання біологічного різноманіття природних водних екосистем, забезпечення функціонування у належному стані навколишніх водних і суходільних екосистем [8].

Проте, будь-яке виробництво продуктів харчування в промислових масштабах, спроможних задовольнити потреби зростаючого населення Землі є глобальною світовою справою, що потребує використання значних природних ресурсів та, нажаль, приносить значну шкоду навколишньому середовищу. Аби зменшити даний негативний вплив виробники продуктів харчування намагаються перекваліфікувати своє виробництво у екологічно чисте та одночасно високопродуктивне. Таке поєднання забезпечують технології аквапоніки, або ж аквапонічні системи.

За усталеними визначеннями провідних фахівців аквакультура – це метод культивування водних рослин і тварин [30], тоді як гідропоніка – це метод вирощування без ґрунту [36, с.8]. В свою чергу системи аквапоніки є

поєднанням аквакультури та гідропонічних систем для виробництва їжі [20, с.34], і вони є моделями стійкого вирощування рослин та риби [25, с.161].

Система аквапоніки це по суті симбіотична система, де вода циркулює між зонами вирощування риби та рослин. Аквапоніка – поєднує вирощування водних тварин, таких як риба, раки, черепашки або креветки у спеціальних резервуарах із гідропонікою (вирощування рослин у воді), де живильна речовина, багата на поживні речовини, з аквакультурного середовища подається рослинам, які вирощуються гідропонічним способом [33, с.369; 18, с.253] (рис.1.1).



**Рис. 1.1. Принципова схема аквапонічної системи [26]**

Тобто, це інноваційна, замкнена система, яка є результатом поєднання двох технологій виробництва продуктів харчування. У ній рослини ростуть без ґрунту, використовуючи воду з поживними речовинами з аквакультурного середовища. Рослини фільтрують й очищують воду, видаляючи зайві речовини. Очищена вода повертається до середовища аквакультури, де надалі використовується для риби або інших водних організмів. Окрім рослин та водних організмів важливою ланкою аквапонічних систем є бактерії, вони слугують для нітрифікації аміаку, кінцевого продукту метаболізму, що в свою

чергу призводить до утворення нітратів і нітритів, які використовуються рослинами [34].

Слід акцентувати увагу на те, що аквапоніка – комплексне поєднання рециркуляційної системи аквакультури (RAS) і безгрунтової органіки.

Аквапоніка – це цілком природний процес, який імітує всі озера, ставки, річки та водні шляхи на землі. Аквапонічні системи є стійкими та екологічно чистими, оскільки відсутні токсичні відходи та хімічні викиди. Прямим призначенням аквапонічних виробництв є вирощування екологічно чистих продуктів харчування, оскільки такі системи створюють сталу екосистему, де рослини отримують поживні речовини з води з відходами життєдіяльності риб, яка нітрифікується аеробними бактеріями.

Спільною частиною системи аквапоніки є корм для риб. Риби їдять їжу та виділяють відходи, які корисні бактерії перетворюють на поживні речовини, що використовуються рослинами в процесі росту. Споживаючи ці поживні речовини, рослини забезпечують очищення води. Таким чином в аквапонічних системах створено сприятливі умови для взаємодії між рослинами і рибами. Відходи риб, такі як аміак, використовуються як джерело добрив для рослин, тоді як рослини очищають воду, що повертається до рибного резервуару.

Крім того, вони не вимагають використання хімічних добрив, оскільки природні процеси в системі забезпечують достатнє живлення для рослин. В аквапоніці не використовуються гербіциди, пестициди чи інші агресивні хімікати, що робить рибу та рослини більш безпечними для споживання.

Аквапонічні системи часто підрозділяються на спеціальні компоненти або підсистеми, які відповідають за ефективне видалення твердих відходів, додавання основ для зниження кислотності або зберігання кисню у воді.

Важливим є те, що цього такі системи є сталим джерелом продукції, оскільки вони є ефективними джерелами продуктів у будь-яку пору року та можуть бути встановлені як і в закритих приміщеннях так і на відкритому просторі. Також аквапоніка вирізняється високою ефективністю використання води, що дозволяє застосування на ділянках з обмеженим водним ресурсом. Система має велику екологічну стійкість за рахунок економного використання

води та відсутності потреби у хімічних добривах та пестицидах. Аквапонічні системи зменшують водоспоживання порівняно з традиційним землеробством, оскільки вода циркулює у системі, а не витрачається.

Вітчизняні дослідники стверджують, що використання аквапонічних ферм дозволить зменшити потреби води для вирощування риби з 250000 до 1,5 м<sup>3</sup>/рік, потреби енергії з 2400 кВт до 300 кВт, викиди вуглекислого газу менше 5,0 мг/л. Побудова інноваційних аквапонічних модульних блоків одночасного вирощування цінних видів риб та рослинницької продукції дозволяють зменшити викиди закису азоту та метану від сільськогосподарських процесів; адаптувати технологічні процеси на непридатних та малопродатних територіях; збільшити рівень використання відновлюваних джерел енергії та мінімального споживання викопного палива на технологічні процеси, трансформував їх на живлення від сонячних батарей дає змогу миттєво реагувати на глобальні зміни клімату [4].

Також важливим аспектом є те, що аквапонічні системи можуть бути легко масштабовані від невеликих систем для особистого вжитку до великих комерційних ферм, та отримувати високий врожай рослин і риб на одиницю площі в порівнянні з традиційними методами вирощування.

Існуючий досвід використання аквапонічних систем, подальші можливості вдосконалення даної технології підтверджує перспективність її використання з метою забезпечення максимально прийнятної швидкості росту рослин і аквакультурних об'єктів при мінімальних затратах енергії, кормів, водних та земельних ресурсів. Головною перевагою аквапонічних систем є незалежність від стану зовнішнього середовища, широкі можливості автоматизації всіх технологічних процесів, особливо контролю, що забезпечує майже ідеальні умови для вирощування практично будь-яких видів гідробіонтів та рослин.

Таким чином, інноваційність аквапоніки, як технології аквакультури полягає в її здатності забезпечити стійке і продуктивне виробництво їжі, використовуючи мінімальну кількість ресурсів і сприяючи збереженню навколишнього середовища.

Оскільки аквапоніка пропонує інноваційний підхід до забезпечення продовольчої безпеки, збереження водних ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище вона вважається одним із ключових напрямків розвитку сучасної аквакультури. Подальше вдосконалення даної технології на основі постійних досліджень та впровадження новітніх технологій у цій галузі сприяє підвищенню її конкурентоспроможності поряд із іншими традиційними технологіями та забезпечить стійкість до впливу зовнішніх чинників, зокрема кліматичних змін.

**1.2. Комерційне використання систем аквапоніки: переваги та недоліки.** Для нормального життя людина має базові потреби, однією з яких є збалансоване харчування. Середня людина в світі споживає приблизно 675 кг їжі на рік, або 1,85 кг їжі на день. Найбільш споживаним м'ясом у світі є морепродукти, за ними йдуть свинина, курка та яловичина [13].

На сьогоднішній день населення Землі становить понад 8 млрд. чоловік, і з кожною хвилиною ця цифра збільшується [21]. Відтак, виробництво продукції харчування є глобально світовою справою, яка потребує багато земельних ресурсів та, нажаль, приносить значну шкоду навколишньому середовищу. Аби зменшити даний негативний вплив виробники продуктів харчування намагаються перекваліфікувати своє виробництво у екологічно чисте.

Згідно Детальних правил виробництва органічної продукції (сировини) аквакультури (Постанова Кабінету міністрів України № 982 від 30.09.2015 р.) ведення подібного способу господарювання передбачає виключення застосування хімічних добрив, пестицидів, ГМО, консервантів, іонізуючої радіації, активаторів росту та синтетичних амінокислот, гормонів та гормональних добавок, тощо на всіх етапах виробництва для отримання натуральної (екологічно-чистої) продукції, а також збереження та відновлення природних ресурсів [10].

У цьому контексті аквапоніка, яка є інтегрованою системою вирощування рослин і риби в спільному середовищі, виходить на передові позиції як потенційно важливий інструмент для вирішення викликів продовольчої безпеки



та сталого розвитку. За допомогою цієї технології можливо досягти ефективного використання ресурсів, таких як вода, корм та енергія, знизити вплив на навколишнє середовище та забезпечити стійке виробництво екологічно чистих харчових продуктів.

Системи аквапоніки здатні функціонувати у різних масштабах та для різних цілей:

- для особистого використання/споживання;
- як хобі;
- для розвитку спільнот в сільській місцевості (соціальне підприємництво);
- як засіб збільшення виробництва продукції харчування в урбанізованих умовах, де можливості для традиційного сільського господарства обмежені;
- з комерційною метою – отримання прибутку за рахунок задоволення потреб споживачів.

Комерційне використання аквапонічних систем передбачає використання даної технології з метою отримання прибутку чи комерційної вигоди від використання ресурсів. Сьогодні важливим є комплексний аналіз переваг і недоліків комерційного використання систем аквапоніки, виявлення основних факторів, які впливають на їх успішне функціонування. Даний аналіз забезпечить пошук шляхів вирішення проблем, які лежать у розвитку цього інноваційного напрямку. Спираючись на обґрунтовані висновки та рекомендації, можливо сприяти подальшому розвитку та впровадженню аквапоніки в промислових масштабах, одночасно забезпечуючи стабільність виробництва, захист навколишнього середовища та задоволення попиту споживачів на здорову та органічну їжу. В результаті проведеного дослідження визначені наступні переваги комерційного використання систем аквапоніки.

1. Екологічна ефективність (ресурсоощадливість) і чистота. Аквапоніка використовує набагато менше води порівняно з традиційним сільським господарством. Вода в системі аквапоніки циркулює і використовується повторно, що дозволяє знизити споживання води до 90%. Крім того, використання безпосередньої рециркуляції води у системі дозволяє уникнути

забруднення ґрунту та водних ресурсів від добрив і пестицидів. По суті, відсутній токсичний дренаж як від гідропоніки, так і від аквакультури окремо. Крім того аквапонічні системи потребують і менших площ земельних ділянок.

У системі аквапоніки мінімізовано використання хімічних добрив, антибіотиків. Рослини отримують всі необхідні поживні речовини з води, яка проходить через систему аквапоніки. Це суттєво знижує негативний вплив на навколишнє середовище.

Риба, вирощена у закритій штучній системі, характеризується високими показниками токсико-екологічної безпеки, оскільки не містить патогенів та паразитів, небезпечних для людини. А оскільки «вирощування риби та інших водних організмів здійснюється під суворим санітарно-гігієнічним контролем і повністю виключає застосування гормональних препаратів та антибіотиків» [9, с. 120] можемо стверджувати що аквапонічні системи забезпечують виробництво екологічно чистої продукції.

2. Зручність та економічність. Розміщення засобів і предметів праці на рівні середини тулуба людини в аквапонічній системі суттєво допомагає полегшити роботу, пов'язану з вирощуванням продукції або із обслуговуванням системи. Економічність в цьому контексті виникає за рахунок підвищення ефективності виробничих процесів. Зменшення фізичного навантаження на операторів допомагає зберегти робочу силу та зменшити ризик виробничих травм. Крім того, можлива оптимізація робочого процесу в аквапоніці здатна суттєво підвищити продуктивність і якість виробництва, а відтак прибутковості та конкурентоспроможності аквапонічного виробництва. Крім того аквапоніка виключає появу бур'яну, а отже відсутні витрати на боротьбу з ним. Обслуговування аквапонічних систем не потребує вирішення складних агрономічних задач при мінімальних витратах на добрива.

3. Висока продуктивність як аквакультури, так і гідропоніки. Можливість одночасно виробляти як білкові так і рослинні продукти (зокрема широкий спектр листової зелені та лікарських рослин) дозволяє досягти високої продуктивності на одиницю виробничої площі. Аквапоніка дозволяє створювати інтегровані системи, в яких рослини та риби взаємодіють між

собою. Відходи риби слугують джерелом поживних речовин для рослин, в той час як рослини фільтрують воду для риб, що забезпечує постійний доступ до необхідних поживних речовин і сприяє їх швидкому росту. Це створює збалансовану систему, де елементи живого організму взаємодіють, сприяючи здоровому росту та врожайності. Важливим аспектом забезпечення високої продуктивності є те, що система аквапоніки може працювати на протязі всього року, незалежно від погодних умов, що дозволяє вирощувати продукцію у будь-який сезон. Крім того, аквапонні системи можуть бути різних розмірів та на будь-який бюджет, від невеличких систем до повномасштабних ферм.

Одночасно можемо виокремити недоліки використання систем аквапоніки.

1. Обмеженість у виборі рослин, що можливо ефективно вирощувати в аквапонічній системі. Зокрема неможливо вирощувати бульбо- та коренеплодні культури. А вирощування листової зелені якісного товарного вигляду потребує додаткового підживлення і освітлення.

2. Складність управління. Система аквапоніки може бути відносно складною у використанні та управлінні. Регулювання рівня поживних речовин, рН, температури і розподілу кисню в системі вимагає постійного контролю та досвіду. Необхідність розуміння екологічних процесів і налагодження правильної балансування можуть бути викликом для новачків, а відтак потребує специфічних висококваліфікованих кадрів зокрема інженерних та фахівців з аквакультури та біоресурсів.

3. Висока залежність від енергії, адже система аквапоніки потребує постійного живлення електроенергією для роботи насосів, фільтрів та систем автоматизації. В разі відключення електропостачання можуть виникнути проблеми з циркуляцією води та вентиляцією, що може призвести до стресу для рослин та риб. Тому, можливі додаткові витрати на встановлення потужних акумуляторів та генераторів, особливо з огляду на складну ситуацію в енергетичному секторі України внаслідок терористичних дій російської федерації.

4. Достатньо великий розмір початкових капіталовкладень. Встановлення систем аквапоніки може бути дорогим завданням, особливо якщо розглядається великомасштабна ферма або комерційний підприємство. Необхідність розроблення проекту, придбання обладнання, будівництва і розробки спеціальних приміщень можуть вимагати значних фінансових вкладень.

Незважаючи на визначені недоліки, аквапоніка є перспективним методом вирощування рослин, оскільки вона сполучає в собі важливі переваги ефективного використання ресурсів і екологічної стійкості.

Якщо у станом на 2014 рік за даними дослідження «An International Survey of Aquaponics Practitioners» (Міжнародне опитування практикантів аквапоніки) [22], 83% відсотки аквапонічних системи (n = 657) були розроблені респондентами самостійно, і тільки 17% респондентів (n = 135) повідомили що наймали консультанта для проектування аквапонічної системи та або придбати набір для аквапоніки.

То вже станом на 2024 р. в світі нараховується декілька потужних виробників, які пропонують промислові рішення з аквапоніки, зокрема Nelson and Pade, Inc., Aquaponics Source, Pentair Aquatic Ecosystems (США), GrowUp Urban Farms (Велика Британія), Масштаби діяльності даних компаній підтверджують тезу про затребуваність аквапоніки, як виду підприємницької діяльності.

З правильним плануванням і налагодженням система аквапоніки може бути успішною виробничою моделлю для вирощування як овочів, листкової зелені, так і риби, молюсків, сприяючи сталому розвитку і забезпеченню якісним продовольством населення.

**1.3. Аквапоніка і реалізація 17 Глобальних цілей сталого розвитку ООН.** Аквапоніка, як було доведено в попередній розділах даної роботи є інноваційною технологією сільського господарства та аквакультури, яка здобуває все більше популярності у світі як ресурсоощадний спосіб вирощування рослин та риби. У контексті глобальних викликів, таких як

боротьба зі зміною клімату, бідність, голод та збереження водних ресурсів, аквапоніка набуває особливого значення.

Загрози що виникають перед людством, а саме як бідність, голод, нерівність, зміна клімату, деградація екосистем та інші, спонукали міжнародну спільноту під егідою ООН розробити набір амбітних та одночасно універсальних 17 Глобальних Цілей сталого розвитку (ЦСР), які були прийняті у вересні 2015 року всіма 193 державами-членами Організації Об'єднаних Націй [17]. Ці Цілі спрямовані на досягнення сталого розвитку, що охоплює такі аспекти, як соціальний прогрес, економічний розвиток та захист навколишнього середовища, до 2030 року.

Сталий розвиток (sustainable development – англ) розвиток, що дозволяє задовольнити потреби сучасного покоління без шкоди для майбутніх поколінь.

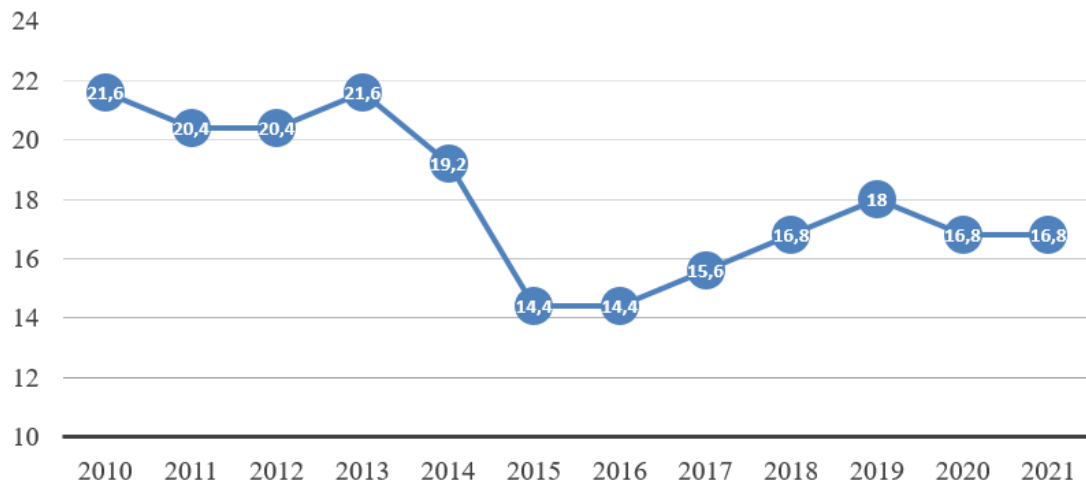
Переклад поняття sustainable development на українську мову має декілька варіантів (наприклад, стійкий розвиток). Але термін сталий розвиток є офіційно визнаним в Україні відповідником англійського терміну. Багато українських науковців, освітян, експертів застосовують також термін збалансований розвиток як такий, що більше відповідає суттєвості розвитку як процесу змін з утриманням еколого-економічного та соціального балансу.

Основою сталого розвитку є економічні та екологічні інтереси суспільства. Порушення рівноваги між ними впливає на погіршення якості життя [15].

В свою, чергу Указом Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» передбачено забезпечення дотримання низки вкрай важливих для розвитку нашої країни цілей. Пунктом 2 в переліку цілей є подолання голоду, досягнення продовольчої безпеки, поліпшення харчування і сприяння сталому розвитку сільського господарства. Одночасно п.6 даного документа визначає необхідність забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами та санітарією [11].

В аспекті розвитку аквакультури та використання водних біоресурсів в Україні дані цілі є вкрай актуальними. Згідно даних моніторингового звіту «Цілі сталого розвитку: Україна 2021» та даних Державного комітету

статистики споживання риби у розрахунку на одну особу, кг/рік в Україні за період 2010-2021 рр. має тенденцію до зниження (рис.1.2).



**Рис. 1.2 Споживання риби і рибопродуктів населенням України у 2010-2021 рр. кг/на рік на 1 особу\*.**

\*Розраховано автором за даними джерела [14].

Добування водних біоресурсів (в т.ч. і аквакультури) в Україні також знижується. Звісно значний вплив мала епідемія COVID-19 (карантинні обмеження), і звісно воєнні дії (табл. 1.1.). Дані в табл. 1.1. з 2019 року наведено по підприємствах, основний вид економічної діяльності яких згідно з КВЕД відноситься до розділу 03 «Рибне господарство» секції А «Сільське господарство, лісове господарство та рибне господарство».

*Таблиця 1.1.*

**Обсяги добування водних біоресурсів в Україні за період 2018-2023 рр [2].**

Роки	Добування водних біоресурсів				У т. ч. риби
	усього	у т. ч. за рибальськими районами промислу			
		аквакультура	внутрішні водні об'єкти	інші регіони промислу	
2018 <sup>1</sup>	86222,5	13576,6	46819,8	25826,1	64737,9
2019 <sup>1</sup>	92682,0	12675,4	22928,7	57077,9	58095,8
2020 <sup>1</sup>	76508,1	11932,6	23291,4	41284,1	48228,6
2021 <sup>1</sup>	69872,9	11100,7	22663,0	36109,2	41816,1
2022 <sup>2,3</sup>	31597,1	к/с	14143,0	к/с	22536,1
2023 <sup>2,4</sup>	35490,2	8452,0	14878,7	12159,5	23493,0

Примітки: <sup>1</sup> Дані наведено без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях. /

<sup>2</sup> Дані наведено без урахування тимчасово окупованих російською федерацією територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії.

<sup>3</sup> Інформація сформована на основі фактично поданих підприємствами звітів (рівень звітування становив 75%) та адміністративних даних Держрибагентства щодо добування водних біоресурсів фізичними особами-підприємцями.

<sup>4</sup> Інформація сформована на основі фактично поданих підприємствами звітів (рівень звітування становив 86%) та адміністративних даних Держрибагентства щодо добування водних біоресурсів фізичними особами-підприємцями.

Як бачимо обсяги добування водних біоресурсів в Україні в 2023 рр. зменшилося майже у 2,4 рази в порівнянні із 2018 рр., в тому числі і із-за втрат територій і наявності значних прибережних територій в зоні активних бойових дій.

Отже, загалом тенденція не є оптимістичною. Значні ризики для збільшення добування водних біоресурсів (в т.ч. і аквакультури) обумовлюються кліматичними змінами, що останніми роками є більш помітними в Україні, а активні бойові дії тільки посилюють їх.

Сьогодні вітчизняні екологи, фахівці аграрного сектору занепокоєні станом водних ресурсів не тільки через господарську діяльність промислових об'єктів, а і через зростаючі наслідки зміни клімату його мінливості і зростанням забрудненості внаслідок війни.

Аквакультура в Україні, ще не набувши потужного розвитку, вже стикається із нарощуванням обмежень щодо ресурсного забезпечення, оскільки конкуренція з боку аграрного сектору за наявні ресурси посилюється, суттєво впливаючи на розміщення, продуктивність та масштабування виробничих систем аквакультури. Загалом, зміни клімату будуть здійснювати наступний вплив на забезпечення рибою та рибопродуктами: зміни у середовищі проживання, зміни у запасах та видовому складі, що автоматичне призведе до зміни у використанні аквапродовольства, а відтак ми будемо звикати до тих видів, які раніше не споживали в їжу [5, с.43].

Слід зазначити, що 17 Цілей взаємодоповнюють одна одну: дії в одній сфері також впливають на результати в інших, тому в розвитку мають бути збалансовані соціальна, економічна та екологічна стійкість [16].

Побудова новаторських модульних блоків для аквапоніки, де можна вирощувати одночасно цінні види риби і рослинну продукцію, допомагає знизити викиди оксидів азоту та метану від сільськогосподарських процесів.

Крім того, ця технологія дозволяє адаптувати процеси до використання на непридатних і менш придатних територіях, збільшує використання відновлюваних джерел енергії та зменшує використання викопних видів палива в технологічних процесах, замінюючи їх сонячними батареями. Одночасно, все разом дозволяє ефективно реагувати на глобальні зміни клімату [29, с.12].

В зв'язку із вищесказаним аналіз впливу розвитку аквапоніки на досягнення 17 Глобальних Цілей сталого розвитку (ЦСР) має кілька важливих аспектів, які доцільно розглядати в розрізі за окремими цілями встановленими ООН (17 цілей) та завданнями що забезпечують їх досягнення (169 завдань).

Подолання бідності (ЦСР 1) Подолання голоду, розвиток сільського господарства (ЦСР 2). Аквапоніка може стати ефективним інструментом для забезпечення продовольчої безпеки та боротьби з бідністю, шляхом забезпечення доступу до свіжих продуктів у віддалених та ресурсомістких регіонах. Доцільно зупинитися на ЦСР 2, а саме на її завданнях.

Завдання 2.1. Забезпечити доступність збалансованого харчування на рівні науково обґрунтованих норм для всіх верств населення. Можливість виробництва в аквапонічних системах рослин та риби в урбанізованих зонах, територіях із обмеженими водними та земельними ресурсами повністю забезпечує реалізацію даного завдання.

Завдання 2.2. Підвищити вдвічі продуктивність сільського господарства, насамперед за рахунок використання інноваційних технологій. Аквапоніка забезпечує одночасне вирощування білкових і рослинних продуктів на основі ресурсоощадливих технологій.

Завдання 2.3. Забезпечити створення стійких систем виробництва продуктів харчування, що сприяють збереженню екосистем і поступово покращують якість земель та ґрунтів, насамперед за рахунок використання інноваційних технологій. Сама технологія аквапоніки як зазначено в п.1.2. є інноваційною і важливим є той факт що активне її застосування є пошуковим полігоном для подальшого розвитку технологій не тільки у сфері розведення, але й селекції та годування.



Завдання 2.4. Знизити волатильність цін на продукти харчування. Аквапонічні системи здатні виробляти агропродукцію в заданих обсягах цілий рік, що обмежує рівні коливань цін на таку продукцію.

Чиста вода та належні санітарні умови (ЦСР 6). Завдання 6.4 Підвищити ефективність водокористування. Аквапоніка використовує значно менше води порівняно з традиційними методами вирощування їжі, що допомагає зменшити тиск на водні ресурси та зберегти їх для майбутніх поколінь.

Збереження морських ресурсів (ЦСР 14) та Захист та відновлення екосистем суші (ЦСР 15). Вирощування рослин та водних організмів у системі аквапоніки може сприяти відновленню та збереженню водних екосистем, а також регулюванню водного середовища.

Промисловість, інновації та інфраструктура (ЦСР 9). Дана ціль забезпечує сприяння інноваціям та інфраструктурному розвитку. Розвиток аквапоніки вимагає нових технологій та інфраструктури (селекція, генетика, відновлювальна енергетика, рециркуляційні системи тощо), що може стимулювати інновації та розвиток в цій сфері, сприяючи сталому економічному зростанню.

Варто звернути увагу на ЦСР 3 Міцне здоров'я і благополуччя та ЦСР 8 Гідна праця та економічне зростання, які опосередковано пов'язані із аквапонікою. Розвиток аквапоніки може сприяти поліпшенню здоров'я та добробуту населення, забезпечуючи доступ до високоякісної та нутриційно багатой їжі, що може зменшити ризик захворювань, пов'язаних з неправильним харчуванням. В свою чергу, розвиток виробництва аквакультури із застосуванням сучасних технологій аквапоніки здатен забезпечити створення нових робочих місць, що особливо важливим є для сільської місцевості, сприятиме поповненню місцевих бюджетів. В подальшому це має призвести до створення потужної переробної бази і розвитку торгівлі в цій сфері, що забезпечить по-перше виробництво продукції із більш високою доданою вартістю, по друге – створення повноцінного ланцюга виробництво → переробка → реалізація [6, с.44].

І глобально, використання аквапонічних систем повністю забезпечує реалізацію ЦСР 12 «Відповідальне споживання та виробництво», адже повністю вирішуються:

Завдання 12.1. Знизити ресурсоємність економіки.

Завдання 12.2 Зменшити втрати продовольства у виробничо-збутових ланцюжках.

Завдання 12.3. Забезпечити стале використання хімічних речовин на основі інноваційних технологій та виробництв.

Завдання 12.4. Зменшити обсяг утворення відходів і збільшити обсяг їх переробки та повторного використання на основі інноваційних технологій та виробництв.

Таким чином, застосування аквапонічних систем повністю узгоджується із парадигмою та практичними аспектами забезпечення реалізації 17 Глобальних цілей сталого розвитку, що важливо для ефективного розвитку нашої держави особливо в аспекті повоєнного відновлення.

На підставі проведеного аналізу, можемо стверджувати, що аквапоніка є інноваційною високоефективною технологією аквакультури, комерційне використання якої попри існуючі недоліки має суттєвий економічний ефекти та повністю узгоджується із напрямками виконання завдань із забезпечення реалізації 17 Глобальних цілей сталого розвитку.

**Висновки з огляду літератури.** Таким чином, проведений аналіз літературних джерел свідчить, що аквапоніка є прогресивною та інноваційною технологією, яка, попри наявність недоліків використання цієї системи, дозволяє виконати широкий список як глобальних так і внутрішніх завдань, таких як сталий розвиток, що дозволяє ефективніше використовувати економічні та біологічні ресурси, подолання голоду та бідності. Також, можемо зробити висновок, що використання аквапонічних систем є перспективним рушієм економіки, адже, окрім надання робочих мість кваліфікованим спеціалістам також можна зазначити збільшення експортних можливостей продукції зі збільшеною доданою вартістю. Вирощування екологічно чистих

продуктів та можливість їхнього збуту за прийнятною ціною, за рахунок зменшення ресурсів, яких потребує система, дозволяє підтримувати здоров'я нації та попереджає голод. Загалом, аквапоніка – перспективна галузь, яка допоможе подолати низку світових проблем, використовуючи при цьому набагато меншу кількість ресурсів.

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Темою бакалаврської кваліфікаційної роботи є «Технологічні аспекти аквапоніки, як інноваційної технології аквакультури».

Метою роботи був аналіз технологічних аспектів функціонування аквапонічних систем, з урахуванням їх інноваційних складових.

Об'єктом досліджень є технологічні процеси оптимального функціонування систем аквапоніки.

Для досягнення поставленої мети, її наукової обґрунтованості та об'єктивності досягнених результатів було застосовано комплекс загальнонаукових методів дослідження:

1. Аналіз літературних джерел, який забезпечив системний огляд наукової літератури з метою збору та аналізу інформації про аквапоніку як інноваційну технологію аквакультури, її роль та значення в сучасному розвитку технологій виробництва їжі, а також щодо комерційного використання та реалізацію цієї технології. Було проаналізовано низку наукових публікацій щодо технології аквапоніки, результати якого засвідчили, що аквапоніка попри наявність певних проблем в організації такого виду виробництва є перспективною технологією аквакультури, що має значний потенціал розвитку на основі впровадження низки інноваційних рішень, як у технічній сфері так, і біологічній. Дослідження техніко-технологічних аспектів аквапонічного виробництва за даними джерел розробників технологічних рішень в аквапоніці, дозволили визначити переваги і недоліки технології, що є об'єктом дослідження, а також встановити зв'язок між використанням даної технології та реалізацією 17 Глобальних Цілей сталого розвитку ООН.

2. Синтез і узагальнення даних дозволив узагальнити інформацію із різних джерел та сформувані комплексне уявлення про аквапоніку та її технологічні аспекти, включаючи інноваційний характер, переваги та недоліки, потенційний вплив на досягнення Глобальних цілей сталого розвитку ООН.

3. Емпіричні дослідження, а саме спостереження та аналіз даних, для

дослідження технології аквапоніки, її виробничих аспектів, конструктивно-технологічних особливостей організації взаємодії об'єктів у системах аквапоніки, включаючи раціональні підходи до вибору риб та рослин для вирощування.

4. Статистичний аналіз надав можливість оцінити значущість отриманих результатів і встановити зв'язки між різними параметрами аквапонічних систем.

5. Аналіз та оцінка практичних застосувань технології аквапоніки у реальних умовах, що дозволяє зробити висновки про її ефективність та перспективи застосування (використання фільтрів, штучних систем освітлення, методів та засобів моніторингу якості води).

6. Експертні оцінки, на основі вивчення фахових публікацій у галузі аквапоніки дозволив визначити її особливості, переваги та недоліки, перспективність використання окремих видів рослин і риб.

Дані методи дозволили структуровано та науково обґрунтовано розглянути проблематику аквапоніки та її значення в контексті аквакультури.

## РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

**3.1. Технологія аквапоніки: виробничі аспекти.** Технологія аквапоніки, як було визначено у 1 Розділі даної роботи привертає все більше уваги як ефективний та стійкий спосіб вирощування рослин та водних організмів. Поєднання аквакультури та гідропоніки в єдину систему дозволяє забезпечити стійке виробництво харчових продуктів і сприяє збереженню водних ресурсів та зменшенню шкідливих викидів в навколишнє середовище.

Розглянемо ключові виробничі аспекти технології аквапоніки та її важливість у контексті відповідального споживання та виробництва у відповідності до завдань із реалізації 17 Глобальних цілей сталого розвитку.

У системі аквапоніки водний розчин, який містить поживні речовини для рослин, циркулює між рослинами і рибами у водних контейнерах. Для забезпечення процесів вирощування живих організмів та рослин необхідні наступні технологічні компоненти.

1. Системи фільтрації води. Для підтримки оптимальної якості води в системі потрібні ефективні фільтраційні системи, щоб забезпечити видалення відходів від риб та інших органічних речовин, які можуть впливати на здоров'я риб і рослин.

2. Системи контролю параметрів води. Моніторинг та підтримка оптимальних рівнів рН, температури води, рівнів кисню та інших параметрів є ключовими для ефективного промислового використання системи аквапоніки.

3. Обґрунтований вибір рослин і риб, що будуть взаємодіяти в аквапонічній системі. Вибір відповідних видів рослин та риб є важливим для забезпечення взаємного збалансування харчування та оптимального використання поживних речовин у системі.

4. Забезпечення енергоефективності. Розробка енергоефективних систем насосів та інших компонентів системи може допомогти зменшити енергоспоживання та зробити технологію більш стійкою з екологічної точки зору.

4. Управління біологічним процесом. Ефективне управління біологічними процесами, такими як нітрифікація та денітрифікація, забезпечує оптимальні умови для росту рослин та риб.

Тобто, реалізація технології аквапоніки забезпечується шляхом комплексного підходу до вирішення виробничих аспектів, включаючи фільтрацію води, контроль параметрів води, вибір відповідних видів рослин і риб, розробку енергоефективних систем та ефективне управління біологічними процесами.

### **3.1.1. Конструкція та принципи роботи аквапонічних систем.**

Аквапонічні системи складаються головним чином з двох основних частин: аквакультура – для вирощування водних тварин, та гідропоніка – рослин. Корми та відходи життєдіяльності накопичуються у воді через замкнуту конфігурацію. Вода, яка має у складі викосу концентрацію аміаку – продукт життєдіяльності, стає токсичною для водної біоти, але в той же час багата на поживні для рослин речовини. Основними конструктивними складовими аквапонічних систем є:

- аквакультурний модуль (ємність для розведення риби). Цей модуль може бути виготовлений з бетону, фіброгласу, пластику або інших матеріалів, що мають герметичну конструкцію для утримання води. Він має бути достатньо великим для рибного стада, забезпечувати їм оптимальні умови життя та мати систему фільтрації для очищення води від відходів;

- система циркуляції води. Зазвичай, циркуляція здійснюється за допомогою насосів, які перекачують воду з аквакультурного модуля до гідропонного модуля, а потім повертають її назад до аквакультурного модуля. Під час циркуляції рослини очищують воду, забираючи з неї надлишок поживних речовин, а риби продовжують виділяти відходи, що стають джерелом поживних речовин для рослин.

- відстійник – агрегат для відсіювання залишків корму та маленьких частинок;

- фільтрація води: Для підтримки якості води в системі аквапоніки

використовуються різні системи фільтрації. Це можуть бути механічні фільтри, що усувають великі частки сміття, бактеріальні фільтри, що забезпечують біологічну фільтрацію, а також системи здатні до хімічної фільтрації для усунення шкідливих речовин. Біофільтр – місце росту нітрифікуючих бактерій, які перетворюють токсичний аміак на необхідні для рослин нітрати;

- гідропонна система – місце для вирощування рослин шляхом поглинання поживних речовин з води. Вона може складатися з посадкових лунок, грядок або системи труб, де коріння рослин занурене безпосередньо у воду або отримує доступ до неї через систему капілярного поливу;

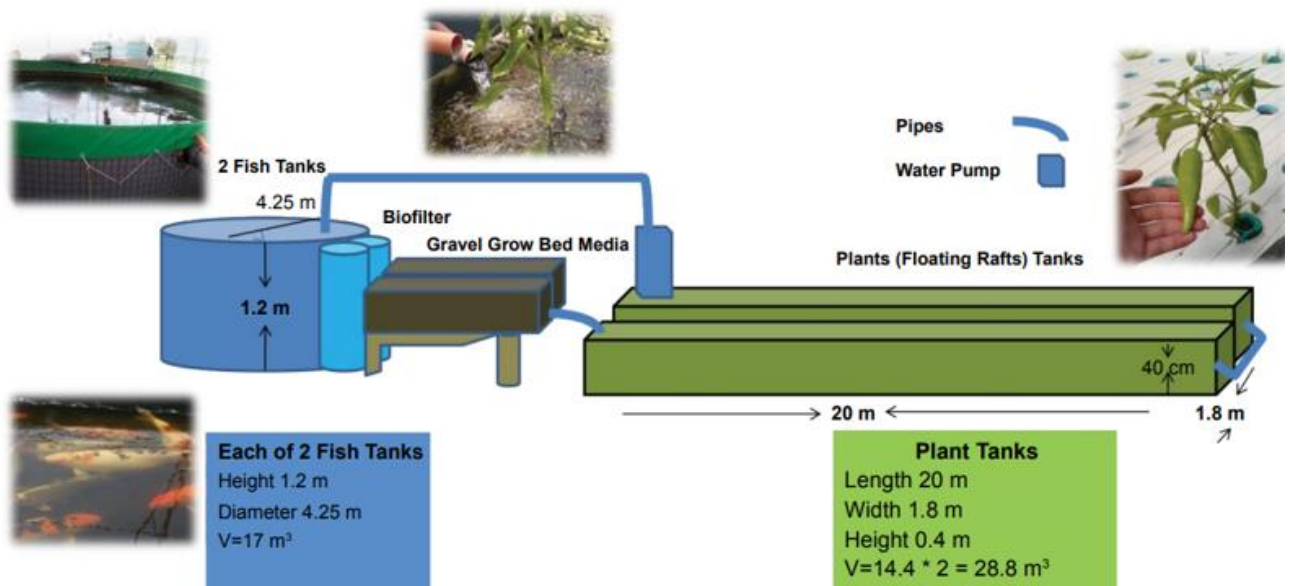
- система контролю. В аквапонічній системі важливо контролювати такі параметри, як температура води, рівень рН, концентрація кисню та інші. Це може здійснюватися за допомогою датчиків та автоматичних систем контролю, що дозволяють підтримувати оптимальні умови для риб і рослин.

- піддон – найнижча частина системи, куди потрапляє вода звідки вона повертається назад до ємності для розведення.

На рис. 3.1 представлено схематичне зображення роботи аквапонічної системи, яке наглядно демонструє конструкцію, необхідні параметри та обладнання.

Різновид фільтру та його наявність може змінюватись, так, наприклад, нітрифікуючі бактерії можуть жити у субстраті, на якому зростають рослини (грунт, гравій), таким чином біологічний фільтр перестає бути потрібним, або перевага може надатись піщаному фільтру який стоїть після гідропонної системи та перед піддоном, для очищення від мілких частинок. Також для забезпечення циркуляції води по системі використовуються водяні помпи. Важливим компонентом систем є аератор, який забезпечує подачу повітря у воду для забезпечення сталого середовища росту риби.





**Рис. 3.1 Конструкція, необхідне обладнання та схема роботи аквапонічної системи [19].**

Отже, представлено ємність для розведення, аерація води відбувається за допомогою повітряної помпи. За допомогою гравітації вода циркулює до гідропонічної системи, представлено рослини, що зростають на субстраті, який містить у собі нітрифікуючи бактерії та слугує ланкою нітрифікації. Профільтрована вода стікає до піддону, з якого в свою чергу насосом перекачується назад до ємності для розведення. Таким чином цикл виробництва замкнутий та не потребує великої кількості води та внесення добрив.

Для ефективного функціонування симбіотичної екосистеми аквапоніки необхідно дотримуватися певних умов середовища (табл. 3.1).

*Таблиця 3.1.*

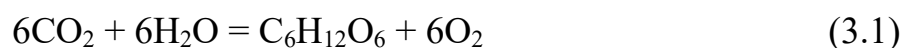
**Оптимальні параметри фізичних та хімічних параметрів якості води в установці замкнутого водопостачання [4]**

Параметр	Формула	Одиниця виміру	Норма	Незадовільний рівень
Температура	X	°C	Залежить від виду	
Кисень	O <sub>2</sub>	%	70-100	<40 і >250
Азот	N <sub>2</sub>	% насичення	80-100	>101
Вуглекислий газ	CO <sub>2</sub>	мг/л	10-15	>15
Амоній	NH <sub>4</sub>	мг/л	0-2,5 (залежить від рН)	>2,5
Аміак	NH <sub>3</sub>	мг/л	<0,01 (залежить від рН)	>0,025
Нітрит	NO <sub>2</sub>	мг/л	0-0,5	>0,5
Нітрат	NO <sub>3</sub>	мг/л	100-200	>300
рН	X	мг/л	6,5-7,5	<6,2 і >8,0
Лужність	X	мг/л	1-5	<1
Фосфор	PO <sub>4</sub>	мг/л	мг/л	1-20

Зважені речовини	SS	мг/л	25	>100
ХПК	X	мг/л	X	25-100
БПК	X		5-20	>20
Гумус	X	X	98-100	
Кальцій	Ca <sup>++</sup>	мг/л	мг/л	5-50

**3.1.2. Роль світла в аквапоніці.** Світло – надважлива складова життєвого циклу майже кожного живого організму на Землі. Воно є дорогоцінним джерелом енергії рослин, яке перетворюється за допомогою фотосинтезу. Для повного розуміння важливості світла розберемо цей процес.

Фотосинтез – 1) хімічний процес, окислювально-відновлювальна реакція синтезу органічних речовин за допомогою сонячної енергії, який проходить у зелених рослинах за допомогою пігментів (хлорофілів та ін.), що супроводжується перетворенням світлової енергії у енергію хімічних зв'язків; 2) синтез органічних сполук (вуглеводів) із простих неорганічних (вуглекислого газу і води), що відбувається із використанням променистої енергії сонця і за участю хлорофілу. При цьому з вуглекислого газу та води утворюється глюкоза та вивільняється кисень. До фотосинтезуючих належать живі організми, що містять хлорофіл (рослини, деякі види бактерій) [3, с. 243]. Узагальнена формула (3.1) фотосинтезу виглядає наступним чином:



Фотосинтез рослин здійснюється в хлоропластах – двомембранні органели, що в більшості своїй знаходяться на листях, так як за рахунок плоскої форми площа сприйняття світла більша за стебло. Внутрішній простір хлоропласта заповнений строною (безбарвною речовиною) і пронизаний намелами (мембранами), які з'єднуються один з одним і утворюють грани.

Хлоропласти мають зелений пігмент – хлорофіл, який є головною речовиною, яка здійснює фотосинтез (рис. 3.2). Він здатний поглинати сонячне світло, особливо з довжиною хвилі від 400 до 700 нанометрів.



**Рис. 3.2** Будова хлоропласту

Під час фотосинтезу рослини забирають вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ) з повітря та воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ) з ґрунту за допомогою кореневої системи. Хлорофіл отримує сонячну енергію, за допомогою якої рослина розщеплює воду на водень ( $\text{H}_2$ ) та кисень ( $\text{O}_2$ ), цей процес називається фотолізом. Далі водень використовується для вироблення хімічної енергії.

Під час поєднання повітря та води в хлоропластах утворюється глюкоза ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) та кисень. Глюкоза є основним джерелом енергії для рослин і використовується для всіх життєвих процесів.

Крім того, «побічним» компонентом фотосинтезу є кисень ( $\text{O}_2$ ), який відіграє надважливу роль у процесах дихання людей та тварин.

Отже фотосинтез – вагомий процес який забезпечує життєдіяльність рослин, вироблення кисню і має беззаперечний вплив на екологічний баланс планети. Світло впливає на ріст, розвиток і морфологію рослин. Інтенсивність, тривалість і спектральний склад світла можуть впливати на здоров'я, форму, розмір і продуктивність рослин.

Оскільки виробництво може розташовуватися як і на відкритому просторі, де світло забезпечується природнім шляхом (рис. 3.3) так і в закритих приміщеннях в яких використовують штучні джерела світла – фітолампи.



**Рис. 3.3. Аквапонічна ферма на відкритому просторі [1]**

Світлові цикли, такі як денне та нічне освітлення, можуть використовуватися для контролю циклів росту рослин. Наприклад, оптимальне освітлення може сприяти здоровому росту рослин у вегетативній стадії, а інший режим освітлення може стимулювати квітіння і плодоношення.

Світло може впливати на рівновагу в аквапонічній системі, забезпечуючи енергію для фотосинтезу рослин і утримуючи стабільні умови для життя інших організмів, таких як риби та мікроорганізми, які грають важливу роль у циклі нітрогену.

Правильне освітлення може сприяти збільшенню урожайності в аквапонічних системах. Використання спеціального штучного освітлення, такого як LED-лампи, може забезпечити оптимальний спектральний склад світла для підтримки росту і розвитку рослин і контроль за урожайністю (рис. 3.4).

Рослини потребують певного спектру світла для фотосинтезу, процесу, за якого вони перетворюють світлову енергію на хімічну енергію, необхідну для росту і розвитку. Для фотосинтезу рослини найбільш активно використовують червоний і синій спектральні діапазони. LED-освітлення може бути налаштоване на підхідні спектральні діапазони, що сприяють оптимальному

росту рослин у системі аквапоніки. В аквапоніці важливо правильно налаштувати тривалість і інтенсивність світла, оскільки ці параметри також впливають на ріст і розвиток рослин. Наприклад, рослини можуть потребувати більш інтенсивного світла під час фази активного росту і меншої інтенсивності під час фази відпочинку.



Рис. 3.4 Приклад застосування фотоламп в аквапоніці.

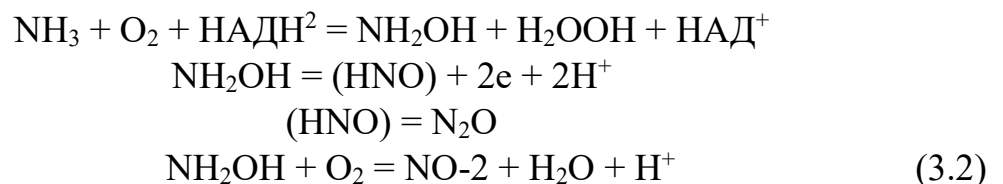
Усі ці фактори демонструють, що світло відіграє важливу роль у забезпеченні успішного функціонування аквапонічних систем і здорового росту рослин у них. Вибір відповідної інтенсивності, тривалості та спектрального складу світла є важливими аспектами проектування і керування аквапонічними системами.

**3.1.3. Особливості перебігу біологічної фільтрації (нітрифікації) води в аквапонічній системі.** При використанні аквапонічної системи головною проблемою є збільшення кількості аміаку та вуглекислого газу у воді. Це спричиняє різке сповільнення розвитку рослин та риби і приводить до загибелі живих організмів. Риби споживають кисень і корми, в результаті чого вода в системі забруднюється екскрементами, вуглекислим газом і аміаком [4].

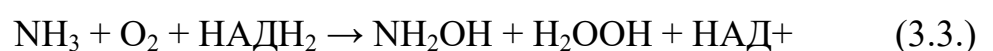
Аміак, який виникає від розкладу життєдіяльності риби і виділяється в

воду, є основним результатом мікробіологічного процесу. У наявності розчиненого у воді кисню, аеробні бактерії здатні окислювати аміак і його газоподібні похідні, такі як аміни, перетворюючи їх у нітрити і нітрати. Цей процес зменшує токсичність води для риб і дозволяє рослинам використовувати утворені нітрати для свого харчування, одночасно очищуючи воду від цих сполук. Тому, біологічна фільтрація води – одна з надважливих ланок у аквапонічних системах. Риби виділяють через зябра аміак, біологічний відхід, який при великих концентраціях стає токсичним, тож його потрібно фільтрувати [34]. Спосіб видалення аміаку носить назву нітрифікація; Нітрифікація – мікробіологічний процес окислення аміаку до азотистої кислоти (нітритна кислота), потім до нітрату, відбувається в аеробних умовах у ґрунті або в природних водах [31]. Нітрифікація, яка полягає у перетворенні аміаку в нітрати в аеробних умовах, є однією з ключових функцій у системі аквапоніки.

Наведемо послідовність реакцій, що є частиною процесу нітрифікації, який відбувається в природних середовищах або в аквапонічних системах (формула 3.2):



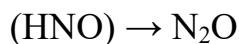
Ця реакційна послідовність описує переведення аміаку ( $\text{NH}_3$ ) до нітратів ( $\text{NO}_2^-$ ) у присутності кисню ( $\text{O}_2$ ). Розглянемо кожну реакцію окремо (формула 3.3):



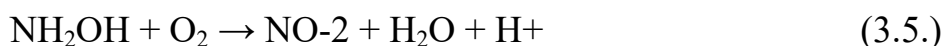
У цій реакції аміак ( $\text{NH}_3$ ) окислюється до гідроксиламіну ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ), а кисень ( $\text{O}_2$ ) із споживаються. Також за участю коензиму  $\text{НАДН}_2$  (в окисленому стані) утворюється вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ) і окисений коензим  $\text{НАД}^+$  (формула 3.4.).



Гідроксиламін ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) диспропорціюється, утворюючи азотистий оксид ( $\text{HNO}$ ) за втратою двох електронів ( $2\text{e}^-$ ) і однією протоном ( $2\text{H}^+$ ).



Азотистий оксид ( $\text{HNO}$ ) відносно легко декомпозується до утворення сміливого газу ( $\text{N}_2\text{O}$ ), відновлюючись при цьому (формула 3.5).



Оксид азоту ( $\text{NO}_2^-$ ) утворюється шляхом окислення гідроксиламіну ( $\text{NH}_2\text{OH}$ ) киснем ( $\text{O}_2$ ). У результаті утворюються нітрити ( $\text{NO}_2^-$ ), вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ) і протон ( $\text{H}^+$ ) (рис. 3.5).

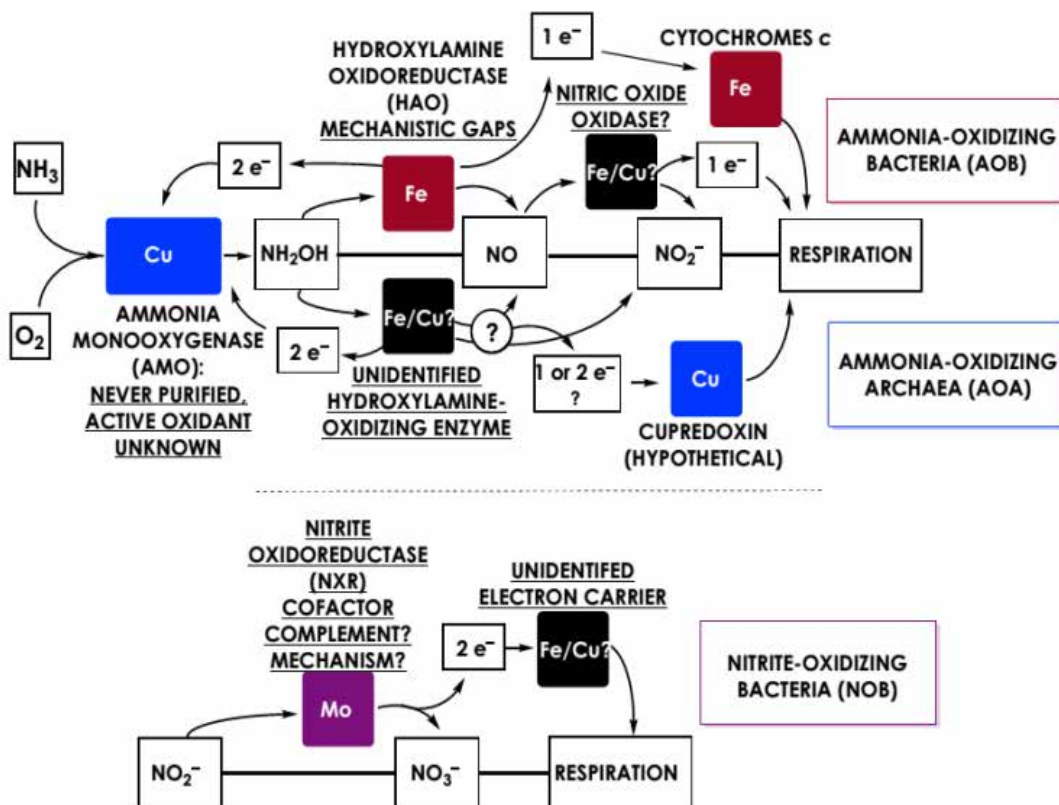
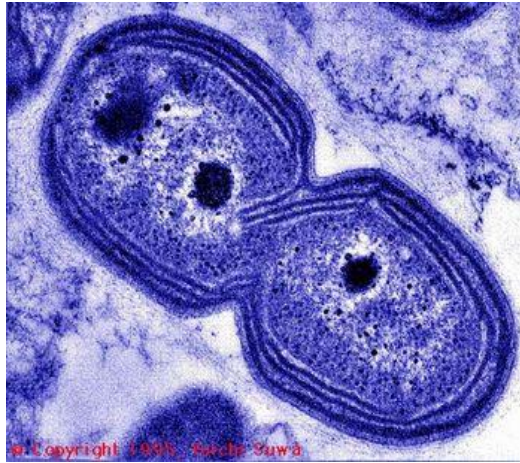


Рис. 3.5 Узагальнення сучасного розуміння біохімії нітрифікації (окислення аміаку бактеріями та археями й окислення нітритів

## бактеріями) [28]

Керують процесом нітрифікації нітрифікуючі бактерії *Nitrosomonas* та *Nitrobacter*. Вони є двома видами бактерій, які відіграють ключову роль у процесі нітрифікації в ґрунті, водних системах та аквапонічних системах.

*Nitrosomonas* є гетеротрофними амоніак-окиснюючими бактеріями, які перетворюють аміак ( $\text{NH}_3$ ) на нітрити ( $\text{NO}_2^-$ ) (рис.3.6). Вони живуть в ґрунті або водних середовищах, де доступний аміак як джерело енергії. *Nitrosomonas* використовує фермент амоніак-монооксигеназу для окислення аміаку до нітритів.



**Рис. 3.6** Бактерія *Nitrosomonas*

*Nitrobacter* є нітрит-окиснюючими бактеріями, які перетворюють нітрити ( $\text{NO}_2^-$ ) на нітрати ( $\text{NO}_3^-$ ). Вони також присутні в ґрунті та водних середовищах, співіснуючи з *Nitrosomonas*. *Nitrobacter* використовує фермент нітрит-оксидоредуктазу для окислення нітритів до нітратів.

Ці два види бактерій *Nitrosomonas* і *Nitrobacter* працюють разом у процесі нітрифікації, допомагаючи перетворити аміак на нітрати через проміжний етап нітритів. Цей процес є важливим у циклі азоту та виконується завдяки діяльності цих спеціалізованих бактерій.

Бактерії *Nitrosomonas* та *Nitrobacter* ростуть у вигляді плівки на нерухомій поверхні або прилипають до органічних частинок, вони потребують субстрату. У цьому випадку використовуються біофільтри, які мають велику поверхню для росту бактерій. Зазвичай використовують фільтри з піском,



гравієм або різними штучними матеріалами. Оптимальними умовами для роботи біофільтру є температура від 25 до 30° С та рН від 7 до 9.

Оскільки нітрифікація є процесом, що виробляє кислоти, цей процес потребує внесення лужної основи для підтримки оптимального рівня рН. Також біофільтри потребують очистки для попередження забруднення мертвою біоплівкою що призводить до забруднення фільтру, скорочень потоку води та зниження ефективності біофільтрації [34].

Нітрифікуючі бактерії перетворюють аміак в нітрит, а потім в нітрат. Для підтримки балансу в такій системі, особливо в промислових масштабах, необхідно використовувати спеціальне обладнання. Тверді елементи продуктів життєдіяльності риби, як правило, очищають за допомогою механічної фільтрації і відстоювання [4].

Фільтри, найпоширеніші для аквакультури США, це: флюїдизовані фільтри, бусові фільтри та реактори з рухомим ліжком.

Флюїдизовані фільтри, також відомі як розподілені фільтри, є типом фільтраційних систем, де рух рідини утворюється шляхом прокачування повітря або газу через тверде фільтрувальне середовище. Флюїдизовані фільтри – шар піску, який утримується в проточному потоку води, він має дуже велику площу для розвитку нітрифікуючі бактерій. За рахунок стискання частинок один з одним вони забезпечують абразивне тертя, що забезпечує зменшення біологічних відходів. Дуже важливу роль грає розрахунок кількості піску та площі фільтру, оскільки неправильна кількість може призводити до скупчення піску в одному куті фільтру, у той же час інша площа не буде задіяна у фільтрації. Таку проблему можна вирішити додаванням до внутрішнього простору елемента, що обертається та розподіляє пісок по площі.

Бусові фільтри – використовують невеликі плаваючі кульки у плаваючому «ліжку». Їх можна поділити на дві категорії: перша використовує плаваюче «ліжко» кульок у статичному режимі що забезпечує також фільтрацію твердих частинок; друга використовує плаваючі кульки, які постійно рухаються. Вони мають періодично промиватися гідравлічним, пневмонічним або механічним способом. Гідравлічне промивання вважається

занадто м'яким, тому більшість фільтрів промиваються за допомогою подачі повітря.

Реактори з рухомим «ліжком» – використовують великі пластикові матеріали, які виготовляються спеціально для створення захищених поверхонь для бактерій які ростуть на субстраті. Матеріал розміщується в ємності, яка постійно аерується. Ці фільтри прості у будові та експлуатації.

Також окрім використання біофільтрів нітрифікуючи бактерії можуть розмножуватися на субстраті, в якому проростає коренева система рослин, оскільки вона збільшує площу бактерій, а значна кількість аміаку забирається рослинами [31].

Мікроорганізми, відповідальні за нітрифікацію, оптимально функціонують при певних умовах, таких як рН, температура і наявність кисню. Зазвичай, оптимальний рН для нітрифікації становить приблизно 7–8, а оптимальна температура залежить від конкретних видів мікроорганізмів, але зазвичай лежить в діапазоні 20–30°C. Крім того, нітрифікація вимагає наявності достатньої кількості кисню в системі, тому часто застосовують аерацію або інші методи постачання кисню до біологічних фільтрів.

Оптимальна продуктивність нітрифікації досягається при певному співвідношенні аміаку, нітритів і нітратів у системі. Забезпечення цього балансу є важливим для забезпечення здоров'я риб і рослин в аквапонічній системі. Надмірний аміак або нітрити можуть бути токсичними для риб, тоді як недостатній рівень нітратів може призвести до нестачі харчових речовин для рослин.

Для контролю за нітрифікацією і забезпеченням оптимальних умов в аквапонічній системі важливо регулярно тестувати воду на рівні аміаку, нітритів і нітратів. Це допоможе вчасно виявити будь-які проблеми і забезпечити відповідну корекцію параметрів системи.

Біологічні фільтри потребують періодичного чищення для забезпечення оптимальної продуктивності нітрифікації. Це може включати видалення накипу, забруднень і відмерлих мікроорганізмів з фільтрів.

### 3.1.4. Моніторинг та контроль якості води в аквапонічних системах.

Як було визначено в попередньому пункті, для забезпечення успішного вирощування рослин та риб у аквапонічних системах необхідно постійно забезпечувати належну якість води. Моніторинг та контроль якості води є головними напрямками забезпечення оптимальних умов для росту та розвитку рослин і тварин.

Параметри за якими проводиться моніторинг та контроль якості води в аквапонічних системах:

Температура води – важливо мати належну температуру для росту вибраних видів риб, а також для рослин.

Розчинений кисень ( $O_2$ ) – дуже важливо мати достатню кількість розчиненого кисню, щоб забезпечити дихання риб і збільшити нітрифікацію.

Рівень рН – якщо в аквапонічній системі рН стає занадто близьким або вищим за 7,2, рослини не можуть поглинати поживні речовини в системі, що призводить до припинення поживних речовин, і ваші рослини почнуть в'янути, з'являться системи скручування листя, почнуть жовтіти, відстануть у розвитку, і не дає ріст або цвітіння. По суті, рослини помирають від голоду. Одночасно, риби віддають перевагу нейтральному рН.

Іншим напрямком аналізу є оцінка рівня вмісту певних речовин, а саме:

Аміак – утворюється при виділенні зябрами риб. Він міститься у воді у двох формах: неіонізованому аміаку ( $NH_3$ ) та іоні амонію ( $NH_4^+$ ), який підсумовується як загальний азот аміаку. Найбільш токсичною формою для риб є неіонізований аміак. Важливо, що форма аміаку залежить від температури та рН.

Нітрити – це друга форма, в якій азот можна знайти в аквапонічній системі; він досить токсичний для риб і утворюється шляхом окислення аміаку нітрифікуючими бактеріями.

Нітрати – це кінцевий продукт окислення азоту, це окислення також здійснюється бактеріями. Нітрати токсичні для риб лише у великих кількостях. Ця кількість залежить від виду риби [32].

Періодичне дослідження параметрів води в аквапонічній системі є

єдиним способом непрямой діагностики здоров'я та активності бактерій. На аквапонічній фермі необхідно розробити графік перевірки води та дотримуватися його. В новоствореній системі рекомендується щодня перевіряти параметри якості води. Аміак і нітрити слід перевіряти щодня та щотижня після цього, щоб контролювати кількість бактерій і популяцію риби під час запуску системи або протягом перших 2 місяців. Крім того, аміак і нітрит слід перевіряти щоразу, коли відбувається аномальна смертність риби, щоб виключити можливу токсичність через зменшення популяції бактерій. Після того, як поживні речовини збалансовані і система вважається збалансованою, вимірювання можна проводити щотижня.

У новоствореній аквапонічній системі рекомендується часто вимірювати рівень ( $O_2$ ). Їх слід перевіряти мінімум раз на день. Навіть після того, як система стабілізувалася, важливо продовжувати щоденний моніторинг  $O_2$ , оскільки низький  $O_2$  є найбільшою загрозою для виживання риби, найшвидший спосіб втратити всю рибу в системі, і більшість загибелі риби під час вирощування є результатом низького  $O_2$ .

Слід наголосити, що біологічна потреба в кисні в системі змінюється щодня. У міру зростання популяції риби, рослин і бактерій їм постійно потрібно все більше і більше кисню. На жаль, виробники аквапоніки зазвичай не вимірюють РО, оскільки обладнання дороге.

Існує два способи вимірювання  $O_2$ . Точнішим і дорожчим методом є використання вимірювача  $O_2$  (рис. 3.7).



**Рис. 3.7. Приклади вимірювачів, доступних на ринку для точних**

**вимірювань розчиненого кисню у воді [27].**

Інший метод полягає у використанні методу Вінклера. У цьому методі розчинений кисень кількісно реагує зі свіжоосадженим гідроокисом Mn (II). При підкисленні, з'єднання марганцю більш високої валентності вивільняє йод з розчину йодиду в еквівалентних кисню кількостях. Йод, що виділився далі визначається титруванням тіосульфатом натрію з крохмалем, як індикатор. Марганцева сіль, йодид і гідроксид реагують з водою, що містить кисень, додається кислота для перетворення й осадження йодиду в йод, а кількість O<sub>2</sub> прямо пропорційна кількості йоду, який є титрують розчином тіосульфату. Це метод із найнижчими витратами на вимірювання O<sub>2</sub>, але хімічні витрати в довгостроковій перспективі дорожчі, ніж вимірювачі O<sub>2</sub> після сотень вимірювань. Метод Вінклера також був перетворений на колориметричний підхід, у якому марганець безпосередньо реагує з етилендіамінтетраоцтовою кислотою, щоб отримати рожевий колір, який можна прочитати за допомогою колірного кола або спектрофотометра для більшої точності [27].

Що стосується концентрованого аміаку, то його самотійно виміряти складно. Тому вимірюється загальний вміст аміачного азоту (NO<sub>3</sub>), а потім розраховується концентрація неіонізованого аміаку, використовуючи рН і температуру води. Сам по собі NO<sub>3</sub> не може свідчити нічого про токсичність для риб, одночасно необхідно також визначити рН і температуру води. При виконанні аналізу води на NO<sub>3</sub>, визначається кількість іонізованого аміаку та іонізованого амонію.

Також сьогодні активно розвиваються інші технології, що забезпечують належне використання водних ресурсів.

Біофільтри – це пристрої, які використовують мікроорганізми для розщеплення та видалення відходів із води в системах аквакультури. Біофільтри можуть бути призначені для видалення сполук азоту, таких як аміак і нітрит, які є токсичними для риб та інших водних організмів. Типи біофільтрів, включають крапельні фільтри, біофільтри з рухомих шаром і фільтри з киплячим шаром.

Резервуари, які дозволяють твердим речовинам осідати з води під дією

сили тяжіння – відстійники можна використовувати для видалення нез'їденого корму, фекалій та інших органічних речовин із систем аквакультури. Тверді речовини, що накопичуються у відстійниках, можна видалити та переробити на компост або добриво.

Окремої уваги заслуговують системи флотації розчиненого повітря (DAF). Це системи, які використовують бульбашки повітря для спливання та видалення зважених твердих речовин і органічних речовин із води в системах аквакультури. Системи DAF можуть бути ефективними для видалення дрібних часток і органічних речовин, які важко видалити за допомогою відстійників. Ультрафіолетові (УФ) стерилізатори це пристрої, які використовують ультрафіолетове світло для знищення патогенів та інших мікроорганізмів у воді. УФ-стерилізатори можна використовувати для дезінфекції води в аквакультурних системах, знижуючи ризик спалахів захворювань. Генератори озону: це пристрої, які виробляють озон, який можна використовувати для дезінфекції та окислення органічних речовин у воді. Генератори озону можна використовувати як альтернативу або доповнення до УФ-стерилізаторів [7].

**3.1.5. Принципи взаємодії живих організмів і технічних систем в аквапоніці.** В аквапонічній системі живі організми, зокрема рослини та риби, та технічні компоненти взаємодіють (співіснують). Технічні компоненти системи аквапоніки включають насоси для циркуляції води, фільтри для очищення води, контейнери для риб та грядки для рослин. Правильне налаштування та підтримка цих компонентів грають важливу роль у забезпеченні ефективності системи аквапоніки. І, саме дана живих організмів та технічних систем забезпечує стабільний та ефективний цикл існування. Основними принципами взаємодії в аквапоніці є:

По-перше, циклічність ресурсів. У системі аквапоніки вода та поживні речовини циркулюють між рибним басейном та грядками для рослин – між водою, рослинами та рибами. Рослини використовують нітрати, амоній та інші відходи, що накопичуються від риб, як джерело харчування, тоді як рослини очищають воду, що повертається до акваріуму для риб. Риби виділяють аміак

як відходи, який потім перетворюється бактеріями на нітрати. Ці нітрати є основою харчування для рослин, що ростуть у грядках. Після того, як рослини поглинуть поживні речовини, вода повертається до рибного басейну, очищена від шкідливих речовин.

Симбіоз живих організмів. Рослини та риби утворюють в аквапонічній системі взаємовигідний симбіоз, який забезпечує біологічне очищення за рахунок наявності бактерій, які розкладають аміак та інші відходи, що надходять від риб. Цей процес, відомий як нітрифікація, забезпечує очищення води від токсичних сполук, зберігаючи її безпечною як для риб, так і для рослин. Рослини використовують відходи риб для зростання, а в свою чергу, рослини очищають воду, що створює оптимальні умови для росту риб. Дані процеси зменшують витрати на добрива та дозволяє економити ресурси.

Керованість екосистеми. В аквапоніці можливо на основі використання технічних складових забезпечити оптимальні умови для росту як рослин, так і риб. Це включає в себе регулювання рівня рН, температури води, освітлення та інших параметрів.

Ресурсоощадливість. Система аквапоніки використовує менше води порівняно з традиційними методами сільського господарства, оскільки вода циркулює в системі та не потребує постійного заміщення. Крім того, ця система може бути побудована з використанням відновлюваних джерел енергії, що робить її енергоефективною та екологічно чистою.

Забезпечення стійкості до зовнішніх впливів. Аквапонічна система може бути стійкою до змін у середовищі, такими як зміни в кліматі чи екологічні кризи, оскільки вона базується на циклічному використанні ресурсів та саморегуляції екосистеми та можливостях регуляції людиною на основі використання технічних засобів.

В цілому, принципи взаємодії між живими організмами та технічними системами в аквапоніці відображають сучасні підходи до розвитку сталого сільського господарства та аквакультури. Аквапоніка відкриває нові можливості для сталого вирощування рослин та водних організмів, сприяючи збереженню ресурсів та зменшенню негативного впливу на навколишнє

середовище при одночасному збільшенні виробництва екологічно чистої продукції, як білкової так і рослинної.

**3.2. Конструктивно-технологічні аспекти організації взаємодії об'єктів у системах аквапоніки.** Конструктивно-технологічні аспекти організації взаємодії об'єктів у системах аквапоніки є ключовими для забезпечення ефективності та стабільності цих систем. Такі системи вимагають побудови певної структури із оптимальними взаємозв'язками об'єктів що в цілому забезпечить найкращі умови для росту/розвитку та ефективної експлуатації обох компонентів.

При проектуванні систем аквапоніки необхідно враховувати такі конструктивні аспекти, як розташування аквакультурного та гідропонічного обладнання, оптимальні параметри системи зрошення, конструкція резервуарів для риб та рослин, а також методи очищення води від відходів риб та інших забруднень.

Баланс в системах аквапоніки забезпечує оптимальний розвиток видів. Знаходження правильного балансу вимагає фундаментальних знань і досвіду у різних факторах, включаючи умови довкілля (такі як температура, вологість, температура води, рН та розчинений кисень [РО]), якість води (із врахуванням рівня амонію, нітритів, нітратів, лужності, забруднення важкими металами та мікробним забрудненням), кількість корму для риби, частоту годування та ступінь мінералізації відходів риби, серед інших. Параметри довкілля, такі як температура, вологість, рН та концентрації мінералів, повинні максимально наближатися до оптимальних умов для росту видів [24]. Наприклад, підтримання оптимальної температури води 22–24°C, рН у діапазоні 5,6–7,3 та РО від 3 до 10 мг/л для тилапії та рослин є компромісним рішенням між потребами риби та рослин.

Неперервні дослідження біологічних і технологічних параметрів систем аквапоніки надають розуміння того, що існує багато змінних в аквапонічних системах, які потребують вивчення. Існує широкий спектр можливих підходів



до побудови оптимальної системи аквапоніки, що визначає її складність та може включати різні комбінації видів аквакультури та культурних рослин, які мають набагато вищу якість та ринкову цінність.

**3.2.1. Принципи підбору об'єктів для вирощування в системах аквапоніки.** Підбір об'єктів для вирощування в аквапоніці, як рослин, так і тварин, базується на декількох принципах. Основна мета – створення симбіотичної системи, де рослини та тварини взаємодіють і доповнюють один одного. Вважаємо, що підбір об'єктів для вирощування в системах аквапоніки має базуватися на наступних принципах,

1. Сумісність (узгодженість) між тваринами та рослинами. Важливо обирати такі рослини і тварини, які взаємодіють добре між собою і мають схожі потреби щодо середовища. Наприклад, рослини з плаваючими листками можуть забезпечити тінь для риб, що потребують прихистку.

2. Харчова цінність. Рослини, які вирощуються в аквапоніці для споживання, мають бути цінними за харчовими показниками та містити необхідні поживні речовини. Наприклад, листя салату, шпинату або базиліку можуть бути вирощені в аквапонічній системі для харчування людей. В свою чергу будь-який вид риби є цінним білковим продуктом.

3. Ефективність використання ресурсів. Об'єкти аквапоніки в поєднанні із технічними компонентами повинні забезпечувати ефективність використання ресурсів, особливо води, поживних речовин та енергії. Так, наприклад, риби можуть забезпечують природне добриво для рослин, тоді як рослини очищують воду для риб.

4. Здатність до адаптації до середовища. Важливо обирати рослини і тварини, які добре адаптуються до умов аквапонічної системи. Наприклад, деякі риби можуть витримувати широкі температурні коливання, а деякі рослини можуть рости в умовах зі зменшеною кількістю світла. Все це потрібно враховувати при проектуванні аквапонічної системи.

5. Рентабельність. При виборі об'єктів аквапоніки важливо враховувати їх економічну доцільність. Рослини або риби повинні мати високу

цінність на ринку або використовуватися для вирощування продуктів, які мають великий попит. Термін «рентабельність» походить від німецького слова «rente» – «повертати». Він показує вдалося чи не вдалося повернути вкладення і на скільки. Рентабельність підприємства – це відносний показник його економічної ефективності, який зображає, наскільки продуктивно компанія використовує матеріальні, трудові, грошові та інші ресурси. Розраховується, як відношення прибутків до активів, що формують його [12].

Ці принципи можуть варіюватися залежно від конкретних умов і потреб аквапонічної системи. Перед вибором об'єктів важливо провести детальний аналіз та дослідження, щоб забезпечити оптимальну працездатність та результативність системи.

**3.2.2. Види риб, оптимальні для вирощувальних установок аквапонічних систем.** Для підбору риби по-перше треба звертати увагу на попит на рибну продукцію цього виду, по-друге – на умови її росту та розвитку, по-третє, на доступність покупки цього виду для поповнення запасів свого маточного стада. Так, кілька видів тепловодних та холодноводних видів риб адаптовані до аквакультурних систем, включаючи тілапію, форель, окуня та арктичного гольця [23]. У першу чергу треба звертати увагу на ті види риб, які характерні для регіону, у якому встановлена система, щоб мати можливість вирощувати певний вид цілий рік.

Наприклад, більшість комерційних аквапонічних систем у Північній Америці базуються на тілапії. Тілапія – це вид тепловодних риб, який добре зростає в рециркулюючій системі зі спеціальними резервуарами. Крім того, тілапія толерантна до коливань водних умов, таких як рН, температура, розчинений кисень і тверді речовини. Тілапія надає біле м'ясо, яке підходить для місцевого та оптового ринків [23]. Найбільш поширені риби, які вирощуються в аквапоніці представлені в табл. 3.2.

Загалом, у аквапонічних системах економічно доцільно вирощувати рибу, яка відповідає наступним критеріям:

Має високу швидкість росту. Вирощування риби, яка має швидко

температурну залежність та швидкий приріст маси, є вигідним з економічної точки зору. Деякі приклади такої риби включають тілапію, карпа, окуня і щуку.

Таблиця 3.2.

**Найбільш поширені види риб, що вирощуються в аквапонічних системах [26]**

Наукова назва виду	Загальна назва	Загальний вигляд	Рейтинг серед найбільш часто вирощуваних видів риби в аквапоніці
<i>Oreochromis niloticus</i>	Нільська тілапія		I
Сукупність різних видів	Декоративні рибки		II
<i>Silurus glanis</i>	Сом звичайний, або європейський		III

Має високу споживчу цінність. Риба, яка має високу ринкову ціну і відповідає попиту споживачів, може бути економічно вигідною для вирощування. Наприклад, лосось, форель, голубий окунь і африканський окунь нільська тілапія є популярними рибними видами, які мають високу ціну на ринку.

Висока здатність пристосовуватися до аквапонічного середовища. Риба, яка добре пристосовується до умов аквапонічної системи і здатна жити в системі замкнутого циклу, є бажаним об'єктом для вирощування в аквапонічній системі. Деякі види риби, які мають високу адаптивність до аквапоніки, включають тілапію, карпа, карася і щуку.

Стійкість і добрий стан здоров'я. Вирощування риби, яка має високий рівень стійкості до захворювань і здорових показників росту, може забезпечити стабільний виробничий процес і зменшити втрати. Деякі рибні види, такі як тілапія, карп і форель, відомі своєю стійкістю і здоров'ям.

Наявність високого рівня попиту на ринку. Важливо враховувати попит

на ринку на певний вид риби. Риба, яка має високий попит серед споживачів і широке застосування в кулінарії, може бути економічно вигідною для вирощування в аквапонічній системі.

Має високу споживчу цінність (високу ціну). Риба, яка має високу ринкову ціну і відповідає попиту споживачів, може бути економічно вигідною для вирощування. Наприклад, лосось, форель, голубий окунь і африканський окунь є популярними рибними видами, які мають високу ціну на ринку.

Вибір конкретного виду риби залежить від кліматичних умов, доступу до генетичного матеріалу, розміру та типу аквапонічної системи, а також від попиту на ринку. Так, в Україні можуть набути популярності сом, короп, форель, тілапія, окунь.

**3.2.3. Рослини, які здатні ефективно функціонувати у системі аквапоніки.** В аквапоніці вирощують багато овочів, але рослини які найбільше пристосовані до систем і генерують найбільший рівень доходу за одиницю площі протягом одиниці часу – салати та трави (рис. 3.8).



**Рис. 3.8 Вирощування салату в аквапонічній системі**

Вони швидко ростуть і мають високі ринкові ціни. Також вибір рослин пов'язаний з щільністю заселених рибних резервуарів і концентрацією поживних речовин у воді, що надходять з аквакультури. Шпинат, цибуля-трибулька, базилік, крес-салат мають низькі вимоги до поживних речовин, і

мають короткий період росту (3-4 тижні) [23].

Споживчий попит на шпинат, цибулю-трибульку, базилік та крес-салат та ін. зазвичай обумовлений наступними складовими.

Харчова цінність та смак. Багато людей купують ці продукти через їх харчову цінність та смакові якості. Шпинат і крес-салат, наприклад, відомі своїми високими поживними властивостями, такими як високий вміст вітамінів і мінералів. Цибуля-трибулька та базилік також мають свої унікальні смакові якості, які роблять їх популярними серед багатьох споживачів.

Здорове харчування. Салати і трави, що вирощуються за технологією аквапоніки відомі своїми корисними властивостями для здоров'я. Вони часто використовуються у здоровому харчуванні та дієтах, оскільки містять різноманітні вітаміни, мінерали та антиоксиданти, які можуть підтримувати здоров'я. В останні роки зростає популярність здорового способу життя та більш збалансованого харчування. Шпинат, крес-салат, цибуля-трибулька та базилік є продуктами, які відповідають цим тенденціям, тому вони стають все більш популярними серед споживачів.

Застосування у кулінарії, і попит з боку закладів громадського харчування. Шпинат, крес-салат, цибуля-трибулька та базилік можуть бути використані як інгредієнти в салатах, супах, соусах, смузі та багатьох інших стравах. Ці рослини додають смак і аромат блюдам і можуть бути ключовими складовими для досягнення певного смаку в рецепті.

Нетривалість зберігання. Шпинат, крес-салат, цибуля-трибулька та базилік мають обмежений термін зберігання, особливо якщо мова йде про свіжість. Багато людей купують часто ці продукти через їх швидке псування, оскільки вони найкраще смакують, коли свіжі. Вирощування листової зелені в аквапонічних системах дозволяє постачати майже щоденно свіже зрізані продукти на прилавки.

Ці складові споживчого попиту можуть варіюватись залежно від індивідуальних вподобань, культурних та географічних відмінностей, а також доступності продуктів на ринку.

Вирощування плодівих культур окрім того, що вимагає більш тривалого

періоду культивування (90 днів і більше) і супроводжується більшою кількістю шкідників і хвороб, потребує більшої кількості поживних речовин, а отже і щільнішої посадки риби.

У аквапоніці можна успішно вирощувати різні плодові культури, особливо ті, що добре ростуть у гідропонічних системах. За допомогою аквапоніки, можливо вирощувати наступні плодові культури.

Помідори можуть добре рости у системі аквапоніки, і це одна з популярних культур для вирощування. Огірки також можуть бути успішно вирощені в аквапонічній системі, забезпечуючи високу врожайність. Кабачки є іншою популярною плодовою культурою для аквапоніки. Вони можуть добре рости та розвиватися в цій системі. Різні сорти перцю, такі як солодкий перець або гострий перець, можуть бути вирощені в аквапонічній системі.

Крім того, деякі види ягід, такі як полуниця або малина, також можуть бути успішно вирощені в аквапонічній системі.

Це лише кілька прикладів плодових культур, які можна вирощувати в аквапоніці. Вибір конкретних культур залежить від багатьох факторів, включаючи кліматичні умови, доступні ресурси (такі як риби), а також попит на ринку.

Аквапоніка може бути вигідною для вирощування квітів, які мають попит на ринку та є цінними для продажу. Деякі приклади квітів, які можна успішно культивувати за допомогою аквапоніки для подальшої продажу, включають:

Ромашки – популярні квіти, які широко використовуються в букетах і флористиці. Вони можуть бути вирощені в аквапонічній системі з метою продажу на квітковому ринку або постачанням флористичним підприємствам.

Троянди – є одними з найбільш популярних квітів у світі. Вони можуть бути вирощені в аквапонічній системі для продажу як свіжі квіти або використання в флористичній промисловості.

Лілеї – це великі та елегантні квіти, які можуть бути вирощені в аквапонічній системі для подальшого продажу на ринку квітів.

Гербери – яскраві та радісні квіти, які користуються популярністю серед споживачів. Вони можуть бути вирощені в аквапонічній системі для

подальшого продажу на ринку квітів або використання в декоративних композиціях.

Еустома, також відома як сімпервівум, – це квітка з довгим стеблом та численними квітами. Вона може бути вирощена в аквапонічній системі для продажу як квіти з високою декоративною цінністю.

Проте, за економічними показниками найбільш вигідним є вирощування зелені, салатів, листкової зелені, кулінарних трав (шпинат, айсберг, базилік, петрушка, м'ята, кінза, пекінська капуста, китайська капуста, крес-салат) найбільше підходять для ролі об'єкта для вирощування у аквапонічній системі, оскільки не потребують дуже щільної посадки риби, мають короткий час культивування, більша частина їх біомаси придатна до споживання і ці види мають хороший потенціал рентабельності [23].

## ВИСНОВКИ

За результатами проведеного дослідження за темою випускної роботи бакалавра можемо зробити наступні висновки:

1. Проведений в роботі аналіз літературних джерел засвідчив, що аквапоніка є прогресивною та інноваційною технологією, яка поєднує в собі аквакультуру (вирощування риби або інших водних організмів) та гідропоніку (вирощування рослин без ґрунту), створюючи замкнену екосистему. Основна ідея аквапоніки полягає в тому, що відходи, які утворюються від метаболізму риби або інших водних організмів, стають джерелом поживних речовин для рослин. Рослини, зі свого боку, очищують воду, забираючи з неї надлишок поживних речовин, які можуть бути шкідливими для риби або інших водних організмів. Аналіз фахових наукових публікацій довів, що технологія аквапоніки дозволяє реалізувати широкий спектр завдань, зокрема, забезпечення сталого розвитку, ефективне використання економічних та біологічних ресурсів, подолання голоду та бідності. Використання аквапонічних систем є перспективним рушієм економіки, адже, окрім надання робочих місць кваліфікованим спеціалістам можливе збільшення експортного потенціалу продукції зі збільшеною доданою вартістю. Загалом, аквапоніка – перспективна галузь, яка допоможе розв'язати низку глобальних проблем, використовуючи при цьому набагато меншу кількість ресурсів.

2. За результатами дослідження можливостей комерційного використання аквапонічних систем визначено їх недоліки та переваги. Перевагами є ефективність використання ресурсів (води, добрив, засобів боротьби зі шкідниками), оскільки використовуються ті самі водні ресурси для годівлі рослин та утримання риби; стійкість екосистеми – в аквапоніці встановлюється баланс між рослинами і тваринами. Також можливим є отримання більшого врожаю на одиницю площі порівняно з традиційними методами вирощування із мінімальним впливом сезонного чинника. Недоліками у комерційному використанні аквапонічних систем визначено: складність монтажу та управління, оскільки вони вимагають створення оптимальних умов для росту як



рослин, так і тварин; необхідність забезпечення належного моніторингу параметрів системи, таких як рН-рівень, температура, рівень кисню та інші; вразливість до збоїв в енергопостачанні.

3. У 2015 році всіма членами Організації Об'єднаних Націй (ООН) були визначені 17 Глобальних цілей сталого розвитку (ЦСР), які мають стратегічне значення для забезпечення сталого розвитку на планеті до 2030 року. Аналіз завдань із реалізації 17 ЦСР довів що застосування аквапонічних систем повністю узгоджується із їх парадигмою та практичними аспектами реалізації, що вкрай важливо для ефективного розвитку нашої держави особливо в аспекті повоєнного відновлення. Безпосередньо використання аквапонічних систем забезпечує реалізацію наступних ЦСР: подолання бідності (ЦСР 1); подолання голоду, розвиток сільського господарства (ЦСР 2); чиста вода та належні санітарні умови (ЦСР 6); збереження морських ресурсів (ЦСР 14); захист та відновлення екосистем суші (ЦСР 15); промисловість, інновації та інфраструктура (ЦСР 9). Опосередковано розвиток використання аквапонічних систем може забезпечити реалізацію наступних з 17 Глобальних цілей сталого розвитку: Міцне здоров'я і благополуччя (ЦСР 3) та Гідна праця та економічне зростання (ЦСР 8).

4. У контексті відповідального споживання та виробництва було досліджено основні ключові технологічні аспекти аквапоніки, належна реалізація яких сприяє оптимізації виробничих процесів та зменшенню негативного впливу на довкілля, роблячи аквапоніку ефективною і стійкою з екологічної точки зору технологією. Світло в аквапоніці відіграє критичну роль, оскільки джерелом енергії для рослин, тому його параметри повинні бути налаштовані таким чином, щоб відповідати потребам рослин у різних фазах їхнього розвитку. Біологічна фільтрація води, відома також як нітрифікація, є основоположним процесом в аквапонічних системах, основними особливостями якої є забезпечення належних умов – рівень рН, температура і наявність кисню – для мікроорганізмів відповідальних за даний процес. Важливою є підтримка балансу аміаку і нітратів для забезпечення здоров'я риб і рослин в аквапонічній системі – оптимальна продуктивність нітрифікації

досягається при певному співвідношенні аміаку, нітритів і нітратів у системі. Параметри контролю якості води в аквапонічних системах включають температуру, розчинений кисень, рівень рН, а також вміст аміаку, нітритів і нітратів. Відповідність цих параметрів нормативним значенням є запорукою забезпечення оптимальних умов для росту риб і рослин. Тому важливо регулярно виконувати моніторинг та контроль якості води, щоб запобігти виникненню проблем і забезпечити ефективне функціонування аквапонічної системи.

5. У системі аквапоніки взаємодіють живі організми, такі як рослини та риби, з технічними компонентами, такими як насоси та фільтри. Важливе налаштування цих компонентів грає ключову роль у забезпеченні ефективності системи. Ця взаємодія створює стабільний та ефективний цикл існування. Основні принципи взаємодії включають циклічність ресурсів, симбіоз живих організмів, керованість екосистеми, ресурсоощадливість та стійкість до зовнішніх впливів. В цілому, ці принципи відображають сучасні підходи до сталого сільського господарства та аквакультури, відкриваючи нові можливості для збільшення виробництва рослин та риб в промислових масштабах.

6. Важливим фактором ефективності аквапонічних систем є формування ефективної взаємодії між об'єктами для вирощування що може бути забезпечена в тому числі правильністю підбору таких об'єктів. Об'єкти, які вибираються для аквапоніки, повинні бути життєздатними і продуктивними в умовах такої системи. Це означає, що вони повинні витримувати високу вологість, зміни в складі води і доступність поживних речовин. Рослини з різними характеристиками і вимогами до поживних речовин забезпечують більш ефективне використання ресурсів і зменшують ризик поширення хвороб чи шкідників. Важливим є врахування ринкових чинників, такі як попит, рівень цін на продукцію, рентабельність виробництва. Рослин, які сьогодні є ефективними в аквапонічних системах, це перш за все листкова зелень, яка швидко зростають і мають високу вартість і належний рівень попиту салат, шпинат, базилік, кріп, та ін.). Щодо риб, такими є – тілапія (беззаперечний лідер), сом або окунь, а також декоративні рибки. Дані види риб мають високу

швидкість росту і виробляють відходи, які є джерелом поживних речовин для рослин.

Не дивлячись на те, що використання аквапонічних систем має свої виклики, вона є перспективним методом вирощування їжі, який може створити значні переваги у створенні стійких екосистем та ефективного використання ресурсів.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Дієта на воді: перша промислова аквапонна ферма на Київщині Сайт Agroday URL: <https://agroday.com.ua/2019/02/14/akvap/>
2. Добування водних біоресурсів (1996-2023) Державний комітет статистики України URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>
3. Іващенко О.О. Загальна гербологія: монографія НААН, Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків, Інститут захисту рослин НААН. Київ : Фенікс, 2019. 752 с.
4. Лавренко С. О., Кутіщев П. С., Лавренко Н. М., Максимов М. В. Аквапоніка – розумне поєднання рибництва та рослинництва в контексті екологічної безпеки Водні біоресурси та аквакультура. Херсон: Херсонський державний аграрний університет, 2019. С. 91-100. DOI: <https://doi.org/10.32851/wba.2019.2.7>.
5. Меньяйлова В. О. Перспективи розвитку аквакультури в умовах кліматичних змін в Україні *Новітні інструменти формування сукупної пропозиції на рибу та інші водні біоресурси в умовах глобальних продовольчих викликів*. Збірник тез доповідей II Міжнародного науково-практичного семінару. К.: НУБіП України, 2021. 57 с. С.42-44
6. Меньяйлова В.О. Соціально-економічні завдання розвитку аквакультури в Україні *Механізми збалансованого розвитку рециркуляційних аквакультурних систем в Україні: сучасні технології, економіка та право*. Збірник тез I Міжнародної науково-практичної конференції. К.: НУБіП України, 2021. 54 с. С.42-44
7. Меньяйлова В. О. Сучасні технології аквакультури: класифікація та перспективи розвитку // *Scientific research in the modern world. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023*. Pp. 20-27. URL: <https://sciconf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-research-in-the-modern-world-1-3-06-2023-toronto-kanada-arhiv/>
8. Передумови органічної аквакультури Сайт аквакультура України

URL: <https://aq-ua.info/organic-aquaculture/>

9. Польовий В. М., Майборода Х. А. Аквапоніка як інноваційна технологія для вирощування екологічно чистих продуктів *Вісник НУБГП. Сільськогосподарські науки: зб. наук. праць*, 2022. Вип. 3(99). С. 116-126.

10. Про затвердження Детальних правил виробництва органічної продукції (сировини) аквакультури Постанова кабінету міністрів від 30 вересня 2015 р. № 982 (Втрата чинності: Постанова № 970 від 23.10.2019 р.) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/982-2015-%D0%BF#Text>

11. Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року Указ Президента України від 30.09.2019 № 722/2019 URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/722/2019>

12. Рентабельність підприємства Нова пошта. Школа бізнесу. URL: <https://online.novaposhta.education/blog/rentabelnist-pidpriemstva>

13. Світове споживання продуктів харчування на душу населення Сайт компанії Good Seed Ventures URL: <https://goodseedventures.com/worldwide-food-consumption-per-capita-2/>

14. Споживання продуктів харчування в домогосподарствах 2010-20121 рр. Дані Державної служби статистики України URL: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

15. Сталий розвиток Центр екологічної сертифікації та маркування URL: <https://www.ecolabel.org.ua/stalij-rozvitok>

16. Що таке Цілі сталого розвитку? Сайт Організація Об'єднаних націй в Україні: URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/tsili-staloho-rozvytku>

17. Як ООН підтримує Цілі сталого розвитку в Україні Сайт Організація Об'єднаних націй в Україні: URL: <https://ukraine.un.org/uk/sdgs>

18. Baganz, Gösta F. M.; Junge, Ranka; Portella, Maria C.; Goddek, Simon; Keesman, Karel J.; Baganz, Daniela; Staaks, Georg; Shaw, Christopher; Lohrberg, Frank; Kloas, Werner. The aquaponic principle—It is all about coupling. *Reviews in Aquaculture*. 2021 pp. 252–264.

19. Bakiu R, Tafaj C, Taci J (2017) First Study about Aquaponic Systems in Albania. *J Mar Biol Aquaculture Res* 1(1):1-7

20. Bernstein, S. Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising

vegetables and fish together. New society publishers. Printed in Canada. Second printing November 2011.

21. Current World Population URL:<https://www.worldometers.info/world-population/>
22. David C. Love ,Jillian P. Fry,Laura Genello,Elizabeth S. Hill,J. Adam Frederick,Ximin Li,Ken Semmens Published: July 16, 2014 URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102662>
23. Diver, Steve NCAT Agriculture Specialist Aquaponics–Integration of Hydroponics with Aquaculture URL: <http://www.backyardaquaponics.com/Travis/aquaponic.pdf>
24. Endut A, Jusoh A, Ali N, et al. A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system. *Bioresour Technol.* 2010;101(5):1511–1517
25. Kargin, H., & Bilgüven, M. Akuakültürde akuaponik sistemler ve önemi. *Bursa Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2018. 32(2), 159-173.
26. Krastanova, M., Sirakov, I., Ivanova-Kirilova, S., Yarkov, D., & Orozova, P. (2022). Aquaponic systems: biological and technological parameters. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 36(1), 305–316. <https://doi.org/10.1080/13102818.2022.2074892> URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13102818.2022.2074892>
27. Joe Masabni, Todd Sink Water quality in aquaponics URL: [fisheries.tamu.edu](http://fisheries.tamu.edu)
28. Lancaster, K.M., Caranto, J.D., Majer, S.H. & Smith, M.A. (2018). Alternative Bioenergy: Updates to and Challenges in Nitrification Metalloenzymology, *Joule*, 2, pp. 421–441. DOI:10.1016/j.joule.2018.01.018
29. Mienailova V. Practical aspects of using aquaponic systems // *The 2nd International scientific and practical conference «Topical aspects of modern scientific research»* (October 26-28, 2023) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan. 2023. 609 p.P.12-16
30. Nash, C. E. The history of aquaculture. Ames, IA: Blackwell Publishing. 2011, p. 336

31. Nitrification Network. «Nitrification primer». Oregon State University. Archived from the original on 2 May 2018. URL: <http://nitrificationnetwork.org/Introduction.php>
32. Radu Mihai Filep, Stefan Diaconescu, Monica Marin, Liliana Bădulescu, Carmen Georgeta Nicolae Case study on water quality control in an aquaponic system *Current Trends in Natural Sciences* URL: [https://www.researchgate.net/publication/314118809\\_](https://www.researchgate.net/publication/314118809_)
33. Rakocy, James E., Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture, *Aquaculture Production Systems*, Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2012 pp. 344-386
34. Rakocy, James E.; Masser, Michael P.; Losordo, Thomas M. Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics–integrating fish and plant culture 2006, URL: [https://www.researchgate.net/publication/284496499\\_Recirculating\\_aquaculture\\_tank\\_production\\_systems\\_Aquaponics-Integrating\\_fish\\_and\\_plant](https://www.researchgate.net/publication/284496499_Recirculating_aquaculture_tank_production_systems_Aquaponics-Integrating_fish_and_plant)
35. Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country Reviews URL: <https://www.fao.org/3/x6941e/x6941e04.htm#bm04.1>
36. Smith, R. What is hydroponics? In: A. Knutson (Ed.), *The best of the growing edge 2: Popular hydroponics and gardening for small- commercial growers and hobbyists*. 2000. pp. 8-9

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ МЕНЯЙЛОВОЇ В.О. ЗА ТЕМОЮ БАКАЛАВРСЬКОЇ  
КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Меньяйлова В. О. Перспективи розвитку аквакультури в умовах кліматичних змін в Україні *Новітні інструменти формування сукупної пропозиції на рибу та інші водні біоресурси в умовах глобальних продовольчих викликів*. Збірник тез доповідей II Міжнародного науково-практичного семінару. К.: НУБіП України, 2021. 57 с. С.42-44

2. Меньяйлова В.О. Соціально-економічні завдання розвитку аквакультури в Україні *Механізми збалансованого розвитку рециркуляційних аквакультурних систем в Україні: сучасні технології, економіка та право*. Збірник тез I Міжнародної науково-практичної конференції. К.: НУБіП України, 2021. 54 с. С.42-44

3. Меньяйлова В. О. Сучасні технології аквакультури: класифікація та перспективи розвитку // *Scientific research in the modern world. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Toronto, Canada. 2023*. Pp. 20-27. URL: <https://sciconf.com.ua/viii-mizhnarodna-naukovo-praktichna-konferentsiya-scientific-research-in-the-modern-world-1-3-06-2023-toronto-kanada-arhiv>

4. Mienailova V. Practical aspects of using aquaponic systems // *The 2nd International scientific and practical conference «Topical aspects of modern scientific research»* (October 26-28, 2023) CPN Publishing Group, Tokyo, Japan. 2023. 609 p.P.12-16