

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет ветеринарної медицини та тваринництва

Кафедра біоресурсів, тваринництва та аквакультури

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

КУРСОН АНДРІЙ ВІКТОРОВИЧ

УДК 639.515.082

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОЩУВАННЯ РАКОПОДІБНИХ В УСТАНОВКАХ
ЗАМКНУТОГО ЦИКЛУ В УМОВАХ НАВЧАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ
АКВАКУЛЬТУРИ ПОЛІСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ**

207 «Водні біоресурси та аквакультура»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Андрій КУРСОН

Керівник роботи:
Віта ТРОХИМЕНКО,
кандидат с.-г. наук, доцент

Житомир – 2025

Висновок кафедри біоресурсів, тваринництва та аквакультури

за результатами попереднього захисту: _____

Протокол засідання кафедри **біоресурсів, тваринництва та аквакультури**
№ ____ від «____» _____ 2025 р.

Завідувач кафедри біоресурсів,
тваринництва та аквакультури

Діна ЛІСОГУРСЬКА

«____» _____ 2025 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти **Андрій КУРСОН** захистив кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою _____

за шкалою ECTS _____

за національною шкалою _____

Секретар ЕК

(підпис)

Ніна ЛЕБЕДІВСЬКА

Анотація

Курсон А.В. Технологія вирощування ракоподібних в установках замкнутого циклу в умовах навчальної лабораторії аквакультури Поліського національного університету – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 207 «Водні біоресурси та аквакультура». – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

У кваліфікаційній роботі науково обґрунтовано та адаптовано технологію вирощування червоноклешневого рака в умовах навчальної лабораторії аквакультури з використанням установок замкнутого водопостачання, з урахуванням біологічних особливостей виду, технічних параметрів системи та освітньо-практичних потреб. Проведено аналіз біологічних характеристик червоноклешневого рака як об'єкта аквакультур, вивчено сучасні технології вирощування ракоподібних у системах УЗВ, з акцентом на *Procambarus clarkii*, описано конструкцію та функціональні елементи УЗВ, адаптованої для навчальної лабораторії. Розроблено технологічну схему вирощування червоноклешневого рака в умовах лабораторії. Визначено оптимальні параметри середовища (температура, кисень, корм, щільність посадки) для ефективного росту та розвитку виду.

Ключові слова: установка замкнутого циклу, ракоподібні, водне середовище, технології вирощування, продуктивність.

ANNOTATION

Kurson A.V. Technology of growing crustaceans in closed-cycle facilities in the conditions of the aquaculture training laboratory of the Polissia National University. - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualification work for the master's degree in specialty 207 - Water bioresources and aquaculture. - Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work scientifically substantiates and adapts the technology of growing red-clawed crayfish in the conditions of an aquaculture training laboratory using closed water supply installations, taking into account the biological characteristics of the species, technical parameters of the system and educational and practical needs. An analysis of the biological characteristics of red-clawed crayfish as an aquaculture object was carried out, modern technologies for growing crustaceans in UZV systems were studied, with an emphasis on *Procambarus clarkii*, the design and functional elements of the UZV adapted for the training laboratory were described. A technological scheme for growing red-clawed crayfish in laboratory conditions was developed. The optimal environmental parameters (temperature, oxygen, feed, stocking density) for effective growth and development of the species were determined.

Keywords: closed-loop system, crustaceans, aquatic environment, cultivation technologies, productivity.

ЗМІСТ

Анотація	3
Вступ	5
Розділ 1. Огляд літератури	8
1.1 Біологічні особливості виду червоноклешневого рака (<i>Procambarus clarkii</i>)	8
1.2. Стадії онтогенезу та темпи росту характерні для червоноклешневого рака (<i>Procambarus clarkii</i>)	12
1.3. Екологічні вимоги (температура, кисень, солоність, освітлення), які є критичними для життєдіяльності червоноклешневого рака (<i>Procambarus clarkii</i>)	14
Розділ 2. Матеріал, методика, місце та умови проведення досліджень.....	17
2.1 Місце та умови проведення досліджень.....	17
2.1.1. Короткі відомості про підприємство	17
2.2 Матеріал та методика проведення досліджень.....	19
Розділ 3. Результати досліджень.....	20
3.1. Аналіз біологічних характеристик червоноклешневого рака як об'єкта аквакультури	20
3.2. Сучасні технології вирощування ракоподібних у системах УЗВ, з акцентом на <i>Procambarus clarkii</i>	23
3.3. Опис конструкції та функціональні елементи УЗВ, адаптованої для навчальної лабораторії	27
3.4. Розробка технологічної схеми вирощування червоноклешневого рака в умовах лабораторії	30
3.5. Оптимальні параметри середовища (температура, кисень, корм, щільність посадки) для ефективного росту та розвитку виду	34
Висновки та пропозиції	37
Список використаних джерел	39

Вступ

Сучасний розвиток аквакультури як галузі біотехнологій передбачає впровадження інноваційних методів вирощування гідробіонтів, що забезпечують високу продуктивність, екологічну безпеку та економічну ефективність. Особливе місце в структурі аквакультурного виробництва займає вирощування ракоподібних — групи організмів, що мають високу ринкову цінність, харчову цінність та попит на внутрішньому і зовнішньому ринках. У зв'язку з обмеженістю природних ресурсів та зростаючим антропогенним навантаженням на водні екосистеми, актуальним стає розвиток інтенсивних технологій вирощування ракоподібних у контрольованих умовах [1, 2].

Установки замкнутого водопостачання (УЗВ) є перспективною технологічною платформою для вирощування гідробіонтів, зокрема ракоподібних, оскільки дозволяють забезпечити стабільні параметри водного середовища, ефективно використовувати ресурси та мінімізувати екологічний вплив. Водночас, навчальні лабораторії аквакультури виступають важливим елементом підготовки фахівців, що здатні впроваджувати сучасні технології у виробництво [3, 4].

Актуальність теми зумовлена необхідністю адаптації та оптимізації технологій вирощування ракоподібних до умов навчальних лабораторій, які мають обмежені ресурси, але водночас виконують важливу функцію — формування практичних навичок у студентів. Вивчення біологічних особливостей, технологічних параметрів та умов утримання ракоподібних в УЗВ дозволяє не лише підвищити ефективність навчального процесу, а й створити модельні системи для подальших наукових досліджень і впровадження у виробничу практику.

Крім того, в умовах глобальних викликів, пов'язаних зі зміною клімату, деградацією природних водойм та зростанням попиту на білкову продукцію, розвиток замкнутих систем вирощування аквакультурних об'єктів набуває стратегічного значення. Саме тому дослідження, спрямовані на

вдосконалення технології вирощування ракоподібних в УЗВ, є своєчасними, науково обґрунтованими та практично значущими.

Мета дослідження: науково обґрунтувати та адаптувати технологію вирощування червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*) в умовах навчальної лабораторії аквакультури з використанням установок замкнутого водопостачання (УЗВ), з урахуванням біологічних особливостей виду, технічних параметрів системи та освітньо-практичних потреб.

Для досягнення цієї мети було визначено ряд завдань, зокрема:

1. Провести аналіз біологічних характеристик червоноклешневого рака як об'єкта аквакультури.
2. Вивчити сучасні технології вирощування ракоподібних у системах УЗВ, з акцентом на *Procambarus clarkii*.
3. Описати конструкцію та функціональні елементи УЗВ, адаптованої для навчальної лабораторії.
4. Розробити технологічну схему вирощування червоноклешневого рака в умовах лабораторії.
5. Визначити оптимальні параметри середовища (температура, кисень, корм, щільність посадки) для ефективного росту та розвитку виду.

Об'єкт досліджень: процес вирощування червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*) в умовах установок замкнутого водопостачання.

Предмет досліджень: біологічні, технологічні та методичні аспекти вирощування червоноклешневого рака в установках замкнутого циклу, адаптованих для навчальної лабораторії аквакультури.

Основні положення кваліфікаційній роботі викладені у трьох тезах.

1. Трохименко В., Ковальчук Т., Куликівський А., Курсон А., Посонський А., Павлюк В. Ведення органічного рибництва в зоні Полісся *Органічне виробництво і продовольча безпека: цифрові технології та інновації* : збірник праць учасників XII Міжнародної науково-практичної конференції (15–16 травня 2025 р.). Житомир: Поліський нац. університет, 2025. С. 160-161.

2. Куликівський А., Курсон А. Технологічні рішення для вирощування гідробіонтів у замкнутих системах: досвід з ракоподібними та коропоподібними.: зб. наукових праць науково-практичної конф в рамках I туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт «Студентські наукові читання - 2025», 11 грудня 2025 р. м. Житомир : Поліський національний університет, 2025. С.

3. Курсон А. Технологічні особливості вирощування ракоподібних в установках замкнутого водопостачання. *Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва і переробки продукції тваринництва* : зб. наукових праць V Всеукр. наук.-практ. конф., 18 грудня 2025 р. м. Житомир : Поліський національний університет, 2025. С.

Структура та обсяг роботи: Робота виконана на 43 сторінках комп'ютерного тексту, містить 12 таблиць, 10 рисунків, бібліографія нараховує 40 літературних джерел.

Розділ 1. Огляд літератури

1.1. Біологічні особливості виду червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*)

Червоноклешневий рак (*Procambarus clarkii*), відомий також як червоний болотний рак, є одним з найбільш адаптивних видів ракоподібних, що робить його популярним для вирощування в системах замкнутого водопостачання (СЗВ), або рециркуляційних системах аквакультури (RAS). Його адаптивність і продуктивність визначаються комбінацією морфологічних (структурних) і фізіологічних (функціональних) характеристик, які дозволяють витримувати контрольовані умови, такі як обмежений простір, стабільна якість води та висока щільність посадки. Ці риси сприяють швидкому росту, ефективному використанню ресурсів і стійкості до стресів, що є ключовими для комерційного виробництва [5, 6].

Морфологічні характеристики. Морфологія *P. clarkii* сприяє його виживанню та ефективності в СЗВ, де важливі компактність, міцність і здатність до взаємодії в обмеженому середовищі. Основні риси включають:

Великі клешні (chelipeds). Самці мають пропорційно більші та ширші клешні порівняно з самками, що забезпечує статевий диморфізм. Ця риса підвищує агресивність і територіальність, допомагаючи в конкуренції за ресурси в щільних системах, але також збільшує варіативність (коефіцієнт варіації ваги клешень до 66,74%). Клешні сприяють ефективному захопленню корму та захисту, покращуючи продуктивність [7].

Широкий цефалоторакс впливає на споживання кисню та метаболізм, дозволяючи адаптацію до помірних течій (до 25 см/с). Це забезпечує стабільність у СЗВ з контрольованою циркуляцією води, де рак може приймати обтічну позу для зменшення опору [8].

Міцний екзоскелет і багатонаправлений рух. Твердий панцир захищає від механічних пошкоджень і патогенів, а здатність до руху в різних напрямках полегшує навігацію в обмежених резервуарах СЗВ. Низька

вологість тканин (близько 75,75%) і високий вміст протеїну (73,25%) сприяють ефективному використанню корму та зменшенню відходів [9].

Фенотипічна пластичність. Висока варіативність рис, таких як вага клешень і хвостового стебла, дозволяє адаптацію до різних режимів вирощування (ставки, рисові поля, бочки), що ідеально для стабільних умов СЗВ (рис. 1).

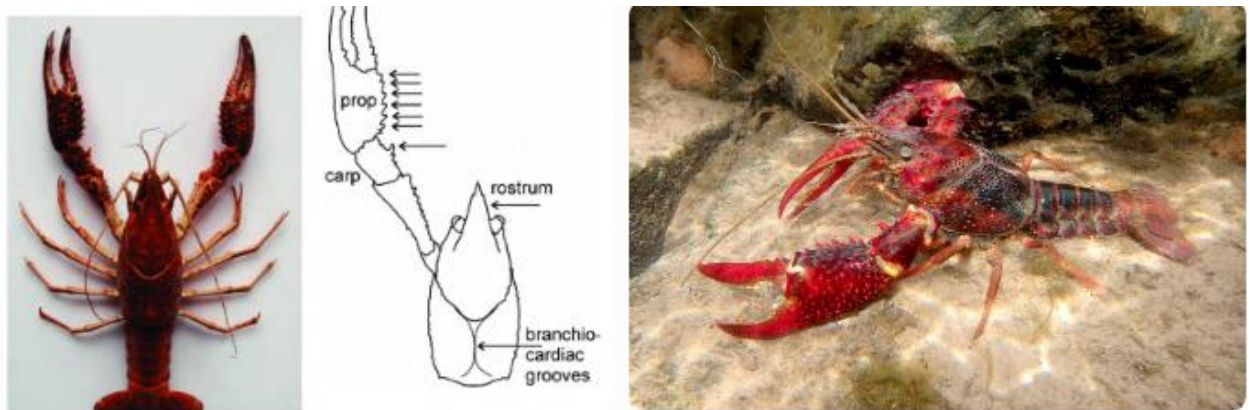


Рис. 1. Морфологічні характеристики

Фізіологічні характеристики. Фізіологія *P. clarkii* забезпечує толерантність до коливань у СЗВ, таких як накопичення відходів чи зміни температури, сприяючи високій продуктивності через швидкий ріст і розмноження [10].

Толерантність до умов середовища, рак витримує розчинений кисень 5,0–6,8 мг/л, температуру 22–30°C, рН 6,8–8,5 та аміак <0,5 мг/л. Це дозволяє стабільне існування в СЗВ з рециркуляцією води, де параметри контролюються штучно. Він також терпить течії до 50 см/с, але оптимально при низьких швидкостях, зменшуючи енергетичні витрати [11].

Метаболічна гнучкість і споживання кисню, споживання кисню (MO_2) зростає з розміром тіла та швидкістю течії, досягаючи 72% максимальної метаболічної швидкості (MMR). Це забезпечує адаптацію до стресів у СЗВ, але рекомендується утримувати течію <25 см/с для збереження енергії на ріст і розмноження [12].

Швидкий ріст та високі темпи зростання залежать від годівлі (високий протеїн покращує ефективність), з кореляцією морфологічних рис (наприклад, довжина цефалотораксу) з вагою тіла (r до 0,909). У контрольованих СЗВ, як аквакультурні бочки, вага досягає 33,44 г у самців, що підвищує запліднюваність та кількість запліднюючого матеріалу [13].

Висока плодючість і репродуктивність, швидке розмноження (висока фекундність) забезпечує поповнення популяції в СЗВ. Статевий диморфізм підтримує репродуктивний успіх, але високі течії можуть зменшити енергію на відтворення [14].

Антиоксидантна та імунна стійкість, містить біоактивні сполуки (хітин, астаксантин), що підвищують опірність хворобам, критичну в закритих системах з ризиком патогенів (табл. 1).

Таблиця 1. Вплив на адаптивність і продуктивність

Характеристика	Опис	Вплив на адаптивність і продуктивність у СЗВ
Великі клешні	Більші у самців, висока варіативність	Покращує конкуренцію за корм, підвищує виживання в щільних системах
Ширина цефалотораксу	Впливає на метаболізм	Дозволяє адаптацію до течій, оптимізує енергетику
Екзоскелет	Міцний, з біоактивними сполуками	Захищає від стресів, зменшує втрати від хвороб
Толерантність до параметрів води	Широкий діапазон DO, pH, temp	Забезпечує стабільність у рециркуляції
Метаболічна гнучкість	Зростання MO_2 з навантаженням	Дозволяє витримувати коливання, але потребує контролю течії
Швидкий ріст	Залежить від дієти, кореляція з морфологією	Підвищує врожайність, ефективне використання ресурсів
Висока плодючість	Швидке розмноження	Забезпечує стаке виробництво в закритих системах

Ці характеристики роблять *P. clarkii* ідеальним для СЗВ, але для максимальної продуктивності важливо оптимізувати параметри, такі як течія та раціон [15, 16].

Таблиця 2 узагальнює морфологічні та фізіологічні характеристики червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*), що мають значення для його вирощування в установках замкнутого водопостачання (УЗВ):

Таблиця 2. Біологічні характеристики *Procambarus clarkii* для вирощування в УЗВ

Категорія	Характеристика	Вплив на вирощування в УЗВ
Розміри тіла	Довжина до 10–15 см, маса до 70 г	Визначає щільність посадки, об'єм системи
Клешні	Великі у самців, агресивна поведінка	Потреба в укриттях, зонуванні простору
Панцир	Жорсткий екзоскелет, періодичне линяння	Необхідність стабільного мінерального складу води
Зябра	Ефективне дихання при $O_2 > 5$ мг/л	Вимагає якісної аерації
Температурна толерантність	Оптимум 22–28 °С, витримує 10–35 °С	Можливість утримання без складних кліматичних систем
Репродуктивність	До 600 ікринок за цикл, багаторазовий нерест	Сприяє безперервному циклу вирощування
Харчування	Всеїдний: рослинна, тваринна їжа, комбікорми	Знижує витрати, спрощує годівлю
Толерантність до забруднення	Стійкий до органіки, чутливий до $NH_3 > 0,1$ мг/л, $NO_2^- > 0,5$ мг/л	Потреба в ефективній біофільтрації
Адаптація до середовища	Висока виживаність, швидка адаптація	Придатний для навчальних лабораторій
Поводінкові реакції	Територіальність, канібалізм	Вимагає контролю щільності, конструктивних рішень

1.2. Стадії онтогенезу та темпи росту характерні для червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*).

Основні стадії онтогенезу *Procambarus clarkii*. Онтогенез охоплює кілька чітко виражених етапів розвитку — від заплідненого яйця до статевозрілої особини.



Рис. 2. Стадії онтогенезу червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*)

Ембріональна стадія (інкубація яєць). Тривалість: 15–30 діб (залежно від температури 20–28 °C). Місце розвитку наступна - самка носить яйця під черевцем, прикріплені до плеїоподів. Особливості формування органів, сегментація тіла, розвиток очей, клешень і зябер. Вихід личинок відбувається повністю під водою; личинки одразу добре сформовані [17-19].

Личинкова стадія (постембріональний розвиток). У червоноклешневого рака *P. clarkii* личинки не проходять вільноплаваючу стадію (на відміну від деяких морських ракоподібних). Вони залишаються прикріпленими до самки протягом двох линянь, живлячись жовтковими запасами. Після 7–10 днів стають ювенільними формами, здатними самостійно рухатись і живитися [20].

Ювенільна стадія (молодь) характеризується інтенсивним ростом і частими линяннями. За перші 2 місяці молодь може пройти 6–8 линянь. У цей період формується типова морфологія дорослого рака, але розміри ще малі (2–5 см).

Молодий рак (переддоросла стадія). У цей період ріст сповільнюється, але маса тіла швидко збільшується завдяки накопиченню білків і хітину. Частота линяння зменшується до 1 разу на 3–4 тижні [21–22].

Доросла (статевозріла) стадія настає у віці 4–6 місяців при сприятливих умовах (температура 25–28 °С, якісне годування). Дорослі особини досягають 8–12 см у довжину та маси 30–60 г. Самки здатні відкладати до 500 яєць за цикл, а при контрольованому утриманні — до 3 кладок на рік (табл. 3).

Таблиця 3. Темпи росту червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*)

Період розвитку	Тривалість (днів)	Середня довжина (см)	Приріст маси	Особливості
Ембріональний	15–30	-	-	Розвиток у яйці, повна морфогенеза
Личинковий	7–10	0.8–1.0	мінімальний	Прикріплення до самки, живлення жовтком
Ювенільний	30–60	2–5	+500–800 %	Інтенсивне линяння, активне живлення
Молодий рак	60–120	5–9	+300–400 %	Розвиток статевих ознак, зменшення частоти линянь
Дорослий	120+	8–12	стабілізація	Досягнення товарних розмірів, розмноження

Фактори, що впливають на темпи росту можна перелічити наступні - температура води: оптимум 25–28 °C (нижче 18 °C — ріст уповільнюється). Якість корму - білкові корми (≥ 30 % протеїну) прискорюють набір маси. Щільність посадки: перевищення 10–15 ос./м² знижує темп росту через стрес і конкуренцію. Окисно-відновний режим води: при низькому ОРП і дефіциті кисню ростові процеси гальмуються [23].

Отже, онтогенез червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*) характеризується скороченим розвитком личинок, високою частотою линянь у ранньому віці та швидким досягненням статевої зрілості. Завдяки цим особливостям вид відзначається високими темпами росту й пристосованістю до інтенсивних методів штучного вирощування.

1.3. Екологічні вимоги (температура, кисень, солоність, освітлення), які є критичними для життєдіяльності червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*).

Червоноклешневий рак — еврибіонтний вид, тобто він здатен пристосовуватись до широкого спектра екологічних умов. Проте для ефективного росту, розмноження та виживання існують оптимальні діапазони основних абіотичних факторів (рис. 3).

Температура. Оптимум: 22–28 °C. У цьому діапазоні спостерігається максимальна швидкість росту, активність і частота линяння.

Межі витривалості: Мінімум — 10–12 °C (нижче активність різко знижується, можливе заціпеніння). Максимум — до 35 °C, короткочасно може витримувати до 38 °C, але при цьому знижується розчинений кисень, що стає стресовим чинником. Температура для розмноження: 23–28 °C [24–26].

У системах замкнутого водопостачання (СЗВ) температура є ключовим регулятором темпів росту та тривалості інкубаційного періоду [27].

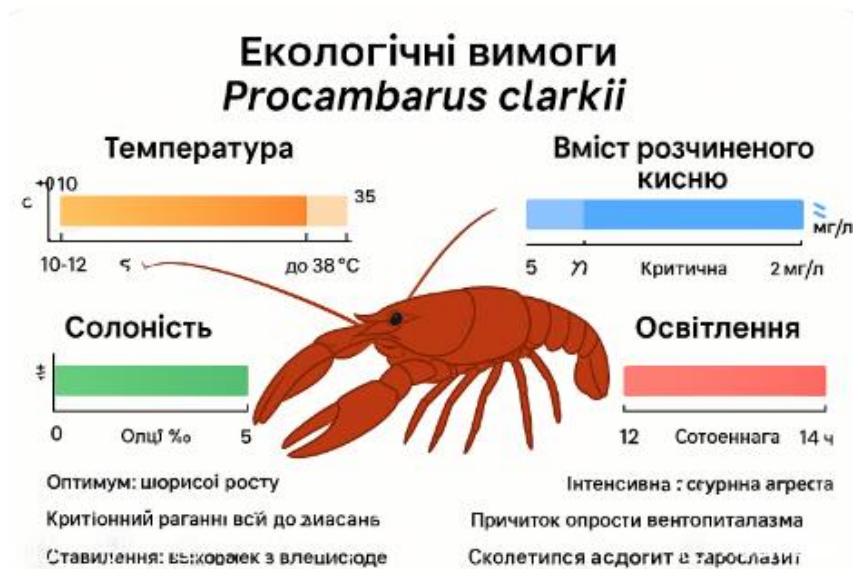


Рис. 3. Екологічні вимоги червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*) до основних абіотичних факторів середовища

Вміст розчиненого кисню (O_2). Оптимум: >5 мг/л. Критичний рівень: <2 мг/л — рак переходить у стан гіпоксії, стає малорухливим, ріст і живлення припиняються [28-29].

Виживання: можливе при 1 мг/л короткочасно, але з високим ризиком загибелі.

Завдяки розгалуженим зябрам червоноклешневий рак (*Procambarus clarkii*) має підвищену толерантність до зниження кисню, що дозволяє утримувати його в умовах густих популяцій або слабкої аерації [30-32].

Солоність. Оптимум: 0–5‰ (переважно прісноводний вид). Витримує короткочасно солоність до 15‰, але при цьому сповільнюється ріст і знижується виживаність личинок. Розмноження відбувається лише у прісній воді (солоність не більше 3‰). Завдяки цій властивості рак може жити у лагунах, каналах або ставках із частковим морським впливом, але без активного розмноження [33-34].

Інтенсивність освітлення помірна або розсіяна. Яскраве світло стресує раків, підвищує агресивність і канібалізм. Оптимальний фотоперіод: 12–14

годин світла на добу. Поведінка особин рака має нічну активність — у денний час переважно ховається в укриттях [35-36].

У СЗВ рекомендується використовувати приглушене або червонувате освітлення для зменшення стресу й підвищення активності під час годівлі.

Таблиця 4. Інші показники середовища червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*)

Параметр	Оптимум	Межі витривалості
pH	6.5–8.0	5.5–9.0
Жорсткість (Ca^{2+})	50–200 мг/л	<30 мг/л — погане формування панцира
Аміак (NH_3)	<0.05 мг/л	>0.1 мг/л — токсичний
Нітрити (NO_2^-)	<0.1 мг/л	>0.3 мг/л — гальмують дихання

Отже, екологічна пластичність червоноклешневого рака забезпечує його високу адаптивність до змін водного середовища, але для максимальної продуктивності потрібні стабільні умови: > температура 25 °C, $\text{O}_2 \geq 5$ мг/л, pH 7.0–8.0, слабе освітлення, солоність $\leq 5\text{‰}$. Саме ці параметри дозволяють досягати високих темпів росту, доброї виживаності та інтенсивного розмноження в аквакультурних системах.

Розділ 2. Матеріал, методика, місце та умови проведення досліджень

2.1 Місце та умови проведення досліджень

2.1.1 Короткі відомості про підприємство

Навчальна лабораторія аквакультури Поліського національного університету є структурним підрозділом факультету ветеринарної медицини та тваринництва та освітньої інфраструктури закладу, призначеним для практичної підготовки здобувачів освіти за спеціальністю 207 «Водні біоресурси та аквакультура» освітнього ступеня бакалавр та магістр.

Лабораторія аквакультури Поліського національного університету розташована на першому поверсі університету за адресою м. Житомир, Старий бульвар, 7.

Лабораторія оснащена установкою замкнутого водопостачання (УЗВ) малої продуктивності, що дозволяє моделювати процеси вирощування коропоподібних у контрольованих умовах. Вона забезпечує проведення лабораторних занять з біології риб, водної хімії, мікробіології, технології годівлі, моніторингу параметрів середовища та оцінки продуктивності.

До складу обладнання лабораторії входять:

- рибні басейни з системою циркуляції води (рис. 4);
- механічні та біологічні фільтри (рис. 4);
- аераційні установки та оксигенатори (рис. 4);
- автоматичні годівниці з програмованим режимом подачі корму;
- сенсори для вимірювання температури, рН, розчиненого кисню, амонійних і нітритних сполук;
- освітлювальні системи з таймерами для регулювання фотоперіоду;
- лабораторні тест-набори для аналізу якості води;
- мікроскопи для мікробіологічного дослідження;
- електронні ваги для зважування риби;

- комп'ютерне обладнання з програмним забезпеченням для збору, обробки та візуалізації даних.



Рис. 4. Обладнання лабораторії аквакультури Поліського національного університету

Лабораторія відповідає вимогам освітньо-наукових програм, сприяє формуванню професійних компетентностей, розвитку практичних навичок та проведенню студентських досліджень у сфері сучасної аквакультури.

Лабораторія аквакультури функціонує як міждисциплінарна навчально-дослідна платформа, що поєднує теоретичну підготовку з практичними навичками у сфері сучасного рибництва. Вона забезпечує умови для проведення лабораторних занять, курсових і кваліфікаційних робіт, а також для реалізації студентських наукових проєктів. Завдяки наявності сучасного обладнання, лабораторія дозволяє моделювати повний цикл вирощування риби — від інкубації до товарної маси — з можливістю контролю всіх ключових параметрів середовища. Її діяльність спрямована на

формування у здобувачів освіти компетентностей у галузях біотехнологій, екології, гідробіології, ветеринарного контролю та сталого управління водними ресурсами.

2.2. Матеріал і методика дослідження

Дослідження проведені в лабораторії аквакультури Поліського національного університету.

Об'єкт досліджень: процес вирощування червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*) в умовах установок замкнутого водопостачання.

Предмет досліджень: біологічні, технологічні та методичні аспекти вирощування червоноклешневого рака в установках замкнутого циклу, адаптованих для навчальної лабораторії аквакультури.

Мета дослідження: науково обґрунтувати та адаптувати технологію вирощування червоноклешневого рака (*Procambarus clarkii*) в умовах навчальної лабораторії аквакультури з використанням установок замкнутого водопостачання (УЗВ), з урахуванням біологічних особливостей виду, технічних параметрів системи та освітньо-практичних потреб.

Для досягнення цієї мети було визначено ряд завдань, зокрема:

1. Провести аналіз біологічних характеристик червоноклешневого рака як об'єкта аквакультури.
2. Вивчити сучасні технології вирощування ракоподібних у системах УЗВ, з акцентом на *Procambarus clarkii*.
3. Описати конструкцію та функціональні елементи УЗВ, адаптованої для навчальної лабораторії.
4. Розробити технологічну схему вирощування червоноклешневого рака в умовах лабораторії.
5. Визначити оптимальні параметри середовища (температура, кисень, корм, щільність посадки) для ефективного росту та розвитку виду.

Розділ 3. Результати досліджень

3.1. Аналіз біологічних характеристик червоноклешневого рака як об'єкта аквакультури.

Сучасна аквакультура — один із найдинамічніших напрямів сільського господарства, що забезпечує світове населення високоякісними білковими продуктами. У зв'язку з виснаженням природних запасів риби та інших водних біоресурсів особливого значення набуває штучне вирощування ракоподібних. Серед численних видів, придатних для розведення, значний інтерес викликає червоноклешневий рак (*Cherax quadricarinatus*) (рис. 5), який поєднує високу продуктивність, екологічну пластичність і ринкову привабливість [37].



Рис. 5. Червоноклешневий рак (*Cherax quadricarinatus*)

Розглянемо таксономічне положення та систематику червоноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*).

Тип: Членистоногі (Arthropoda)

Підтип: Ракоподібні (Crustacea)

Клас: Вищі раки (Malacostraca)

Ряд: Десятиногі (Decapoda)

Родина: Parastacidae

Рід: *Cherax*

Вид: *Cherax quadricarinatus*

Рід *Cherax* налічує понад 40 видів, більшість із яких поширені в Австралії та на Новій Гвінеї. Червоноклешневий рак (redclaw crayfish) є одним із найбільш вивчених і комерційно цінних представників цього роду.

Батьківщина червоноклешневого рака — північна частина Австралії (Квінсленд) і південні райони Нової Гвінеї. Він населяє прісні водойми — річки, болота, ставки зі стоячою або повільно текучою водою. Вид чудово пристосовується до різних екологічних умов, зокрема до підвищених температур і коливань рівня кисню у воді [38].

У природі *Cherax quadricarinatus* мешкає на дні водойм із м'яким мулом, часто серед рослинності або під корчами, де знаходить укриття.

Тіло рака складається з оловогрудей і черевця, вкрите щільним хітиновим панциром. Довжина тіла: до 25–30 см, маса: до 500–700 г у дорослих самців, колір: переважно синьо-зелений, з коричневими або зеленуватими відтінками, клешні масивні, у самців прикрашені яскраво-червоним краєм (ознака статевої зрілості), панцир має чотири поздовжні гребені — характерна особливість виду (звідси назва *quadricarinatus* — «чотиригребеневий»).

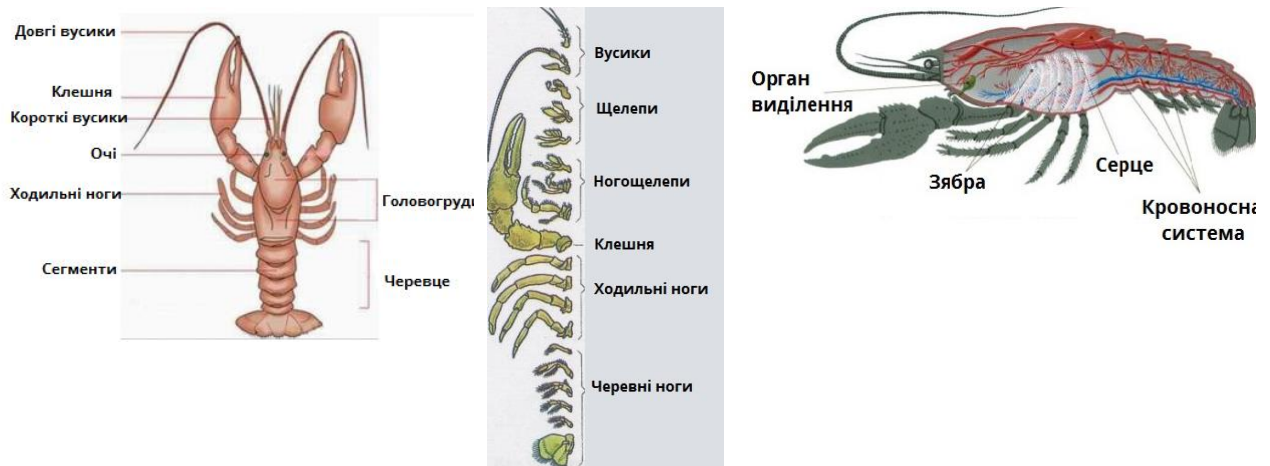


Рис. 6. Зовнішня будова та відділи тіла Червоноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*)

Статевий диморфізм виражений чітко, самці більші, мають ширші клешні й червоні відмітини на них.

Таблиця 5. Біологічні та екологічні особливості Червоноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*)

Показник	Оптимальне значення
Температура води	24–31 °C
pH	6,5–8,5
Розчинений кисень	≥3 мг/л
Солоність	до 5‰
Тип води	прісна або слабкосолонувата
Глибина водойми	0,5–2,0 м

Червоноклешневий рак всеїдний, у природі споживає рослинні залишки, детрит, безхребетних, падаль, а також штучні корми. Має високу адаптивну здатність до різних кормових баз, що робить його ідеальним для фермерського розведення.

Самці та самки готові до розмноження у віці 6–12 місяців. Плодючість - 200–800 ікринок за кладку (іноді до 1000). Інкубаційний період - 4–6 тижнів при 27–30 °C. Тип розвитку прямий (личинки схожі на дорослих особин, без планктонної стадії). Догляд - самка виношує ікру на черевних ніжках і захищає молодь після вилуплення.

Цей біологічний факт — відсутність вільноплаваючої личинкової стадії — є надзвичайно зручним для штучного вирощування в закритих або напівзамкнених системах.

Молодь росте швидко — при оптимальних умовах за 6–8 місяців досягає маси 80–150 г. Ріст супроводжується регулярним линнянням (до 10 разів на рік у молоді, 3–4 у дорослих). Для інтенсивного вирощування застосовуються комбікорми з вмістом білка — 28–35 %, жиру — 5–8 %, клітковини — до 5 %, вітамінно-мінеральних добавок. Кормовий коефіцієнт (FCR) становить 1,8–2,0, що свідчить про ефективне використання поживних речовин.

Червоноклешневий рак добре пристосовується до різних типів водойм — від ставків до систем рециркуляції води (RAS). Основні вимоги: достатня кількість укриттів (каміння, труби, рослини), щільність посадки 10–15

особин/м² для товарного вирощування, регулярна аерація та фільтрація води, контроль за канібалізмом під час линяння [39].

Перелічимо основні **переваги** як об'єкта аквакультури. Це висока швидкість росту та виживаність, всеїдність і легкість годівлі, відсутність личинкової стадії у розвитку, можливість співіснування з рибою (наприклад, тилапією), висока товарна вартість м'яса, добра переносимість коливань якості води.

Перелічимо основні **недоліки** та ризики. Е Канібалізм за високої щільності посадки, чутливість до різких змін температури, потреба у стабільному кисневому режимі, потенційний ризик інвазійності при втечах у природні водойми.

М'ясо *Cherax quadricarinatus* — дієтичний продукт із високим вмістом білка (до 20 %), низьким вмістом жиру (1–2 %) і приємним смаком. Продуктивність ставків сягає до 2–5 тон/га на рік, залежно від інтенсивності технології. Раків вирощують у багатьох країнах — Австралії, Ізраїлі, Таїланді, Бразилії, США, а останнім часом і в Україні. Попит на делікатесне м'ясо стимулює розвиток малих фермерських господарств, що спеціалізуються на вирощуванні раків.

Отже, Червоноклешневий рак (*Cherax quadricarinatus*) - перспективний вид для розвитку аквакультури в умовах України та інших країн із теплим кліматом. Його біологічні особливості (всеїдність, швидкий ріст, прямий розвиток личинок) роблять цей вид економічно вигідним і технологічно зручним для фермерського розведення. Рациональне використання цього ресурсу сприятиме підвищенню продуктивності прісноводних господарств і розширенню асортименту рибної продукції на внутрішньому ринку.

3.2. Сучасні технології вирощування ракоподібних у системах УЗВ, з акцентом на *Procambarus clarkii*.

Системи замкнутого водопостачання (УЗВ) є однією з найперспективніших технологій у сучасній аквакультурі. Вони дозволяють

виросити водних організмів у контрольованому середовищі з мінімальним використанням свіжої води (рециркуляція до 95–99%), що робить їх стійкими до кліматичних змін, забруднення та обмежень природних ресурсів. УЗВ особливо актуальні для ракоподібних, таких як креветки (наприклад, *Litopenaeus vannamei*), краби та раки, оскільки забезпечують високі щільності посадки (до 500 особин/м³), контроль якості води та зменшення ризиків хвороб.

Таблиця 6. Технології для очищення та рециркуляції води

Компонент	Опис	Переваги для ракоподібних
Біофільтри та біореактори	Використовують нітрифікуючі бактерії (наприклад, у moving bed bioreactor) для перетворення аміаку та нітритів на нітрати. Альтернатива — електрокоагуляція (заміна біофільтра електролізом)	Зменшує токсичність азоту, критичну для чутливих стадій ракоподібних (личинки, ювенільні особини)
Механічні фільтри	Ротаційні барабанні фільтри, гідроциклони, протеїнові скиммери для видалення твердих частинок (відходи, неперетравлена їжа)	Підтримує прозорість води, запобігає накопиченню органічних речовин, що викликають бактеріальні інфекції
Стерилізація та дезінфекція	UV-опромінення, озонування або мембранні технології (мікрофільтрація, ультрафільтрація, мембранні біореактори)	Контролює патогени (наприклад, <i>Arphanomyces astaci</i> — чума раків), зменшує використання антибіотиків
Аерація та газообмін	Інжектори кисню, дегазувальні вежі для видалення CO ₂ та надлишку O ₂ .	Забезпечує рівень кисню 5–7 мг/л, необхідний для високих щільностей; інтеграція з мікрородоростями для CO ₂ -поглинання
Автоматизація та моніторинг	Сенсори IoT для pH (7–8), температури (20–30°C), солоності; AI для годівлі та виявлення хвороб	Знижує трудовитрати, оптимізує FCR (коефіцієнт конверсії корму) до 1,2–1,5
Інтеграція з біофлоком та пробіотиками	Комбінація з biofloc technology (BFT) - мікроорганізми перетворюють відходи на корм; додавання пробіотиків для імунної підтримки	Збільшує природне живлення, покращує ріст на 20–30%

Традиційне вирощування ракоподібних у ставках чи рисових полях (як у Китаї чи Луїзіані, США) часто страждає від сезонності, хижаків та

забруднення, тоді як УЗВ дозволяють цілорічне виробництво з вищою продуктивністю.

Сучасні УЗВ для ракоподібних інтегрують кілька ключових технологій для очищення та рециркуляції води, оптимізації годівлі та моніторингу (табл. 6)

Ці технології дозволяють досягати продуктивності в 2–4 рази вищої, ніж у традиційних системах, з витратами на воду <1% від об'єму. Наприклад, у комбінованих RAS+BFT системах для креветок щільність сягає 500–1000 особин/м³, а в Європі та США застосовують міководоростеві біорефайнерії для переробки відходів на біопаливо чи добрива.

Червоноклешневий рак (*Cherax quadricarinatus*) - один з найпопулярніших об'єктів аквакультури серед ракоподібних завдяки швидкому росту (від 0,1 г до 30–50 г за 3–4 місяці), толерантності до низької якості води та високій fekundності (до 500 яєць за кладку). Цей вид становить 12% глобального виробництва креветкоподібних (близько 2,6 млн т у 2021 р., переважно в Китаї), але традиційно вирощується в рисових полях чи ставках. Сучасні УЗВ дозволяють інтенсивне indoor-вирощування, уникаючи проблем з інвазивністю (рак пошкоджує дамби, конкурує з місцевими видами) та сезонністю [40].

Використовують багатошарові басейни з 3D-гніздами або плаваючими укриттями (наприклад, стереоскопічні гнізда з пластику чи сітки) для імітації природного середовища. Об'єм басейнів - 7–32 м³, з подвійним дренажем для видалення відходів. У Китаї та США застосовують low-head RAS з низьким енергоспоживанням (енергія на 20–30% нижча).

Температура води 22–28°C (оптимально для росту), рН 7–8, кисень >5 мг/л, солоність 0–5 ppt (рак толерантний до прісної води). Рециркуляція 90–95%, з частковою заміною 1–2% на добу.

Комерційні корми з 30–40% протеїну (з добавками кальцію та йоду для панцира), доповнені рослинними добавками (наприклад, *Portulaca oleracea* для зменшення протеїну в раціоні). Щільність — 20–50 особин/м², з

FCR 1,2–1,5. Інтеграція з аквапонікою (вирощування з овочами) підвищує стійкість.

УЗВ дозволяють контрольоване розмноження (самиці з 100–200 яєць, інкубація 2–3 тижні). Дослідження (наприклад, у 2024 р.) акцентують на уникнення стресу через укриття, моніторинг поведінки для зменшення каннібалізму (до 10–15% у високих щільностях).

Приклади впровадження. У США (Луїзіана) - 48 тис. га ставків, але RAS-ферми Natural Shrimp Inc. тестують електрокоагуляцію для *P. clarkii* з продуктивністю 10–15 т/га. У Китаї — інтеграція з рисом, але indoor RAS ростуть на 15–20% щорічно. В Європі (Іспанія, Португалія) — фокус на стійкості, з мембранними фільтрами для зменшення викидів. Українські УЗВ (наприклад, для сомів чи форелі) адаптують для раків, з акцентом на аквапоніку.

Переваги: Цілорічне виробництво (до 3–4 циклів/рік), екологічність (зменшення евтрофікації), висока якість продукції (без антибіотиків). Для *P. clarkii* — стабільний дохід (експорт у Азію/Європу), з рентабельністю 20–40%.

Виклики: Високі інвестиції (енергія — 30–50% витрат), ризик накопичення токсинів (H_2S , геосмін). Рішення: гібридні системи з сонячною енергією та AI-моніторингом.

УЗВ для ракоподібних, особливо Червоноклешневий рак (*Cherax quadricarinatus*), - шлях до стійкої аквакультури, з потенціалом зростання на 10–15% щорічно до 2030 р. Для впровадження в Україні рекомендуються пілотні проекти з локальними адаптаціями.

Отже, сучасні технології вирощування ракоподібних у системах замкнутого водопостачання (УЗВ) забезпечують ефективний, керований та екологічно безпечний процес аквакультури. Використання УЗВ для *Procambarus clarkii* дає змогу підтримувати оптимальні параметри водного середовища, зменшити витрати води й запобігти поширенню патогенів. Завдяки контрольованим умовам досягається прискорений ріст, висока

виживаність та цілорічне відтворення особин. Технологія поєднує біологічні та інженерні рішення — біофільтрацію, автоматизований моніторинг і цифрове керування, що робить її придатною як для промислового виробництва, так і для навчальних лабораторій. Таким чином, УЗВ є ключовим напрямом розвитку сучасної аквакультури та формує основу для сталого вирощування *Procambarus clarkii* у контрольованих умовах.

3.3. Опис конструкції та функціональні елементи УЗВ, адаптованої для навчальної лабораторії.

Установка замкнутого водопостачання (УЗВ), адаптована для навчальних цілей, - це модульна мініатюрна система, що відтворює принципи промислових УЗВ у зменшеному масштабі. Її основне призначення - демонстрація фізико-біологічних процесів очищення води, життєзабезпечення гідробіонтів і контролю параметрів середовища.

Типовий об'єм такої системи: 300–1000 літрів, що дозволяє безпечно утримувати та вирощувати невелику кількість гідробіонтів (наприклад, *Procambarus clarkii*, мальків риб, дрібних креветок) у навчальних умовах (рис. 7).



Рис. 7. Установка замкнутого типу в умовах лабораторії аквакультури Поліського національного університету.

Основні конструктивні елементи УЗВ. Вирощувальний акваріум (рис. 8). Матеріал поліпропілен, ПВХ або склопластик. Об'єм 200–500 л.

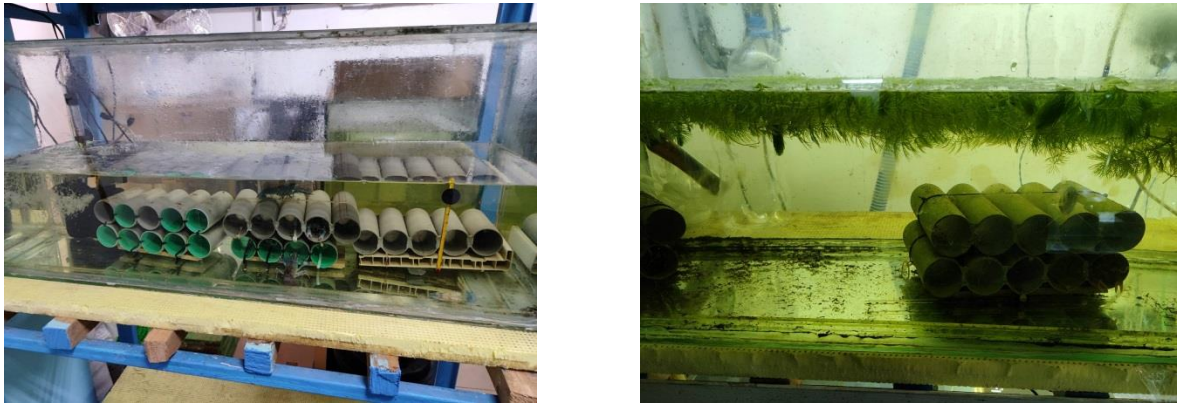


Рис. 8. Вирощувальний акваріум з укриттям для раків

Форма: кругла або прямокутна, з конусним дном для полегшення збору відходів. Додаткові елементи: укриття для раків (трубки, керамічні пластини), система аерації, датчики температури.

Механічний фільтр. Тип: барабанний або губчастий фільтр. для видалення залишків корму, фекалій та зважених часток із води. Матеріали - неіржава сітка, фільтрувальні губки різної щільності. Він розташований на першому етапі фільтрації після басейну.

Біофільтр - біологічне очищення води, підтримання стабільного хімічного балансу. Біоплівка з нітрифікуючих бактерій (*Nitrosomonas*, *Nitrobacter*) окиснює амоній і нітрити до нітратів. Це рухоме біонаповнення (moving bed) або стаціонарне завантаження (біошари) у вигляді пластикових кульок або керамічні носії (рис. 9).



Рис. 9 Система фільтрації

Система аерації - датчик розчиненого кисню, автоматичне регулювання інтенсивності подачі повітря. Це компресор, розподільна магістраль, дифузори (пористі камені або мікроперфоровані трубки). Основна їх функція насичення води киснем і перемішування шару біофільтра.

Насосна станція - циркуляція води між секціями УЗВ. Це відцентровий або занурюваний насос, продуктивність - 3–5 кратний об'єм системи за годину. Також присутній аварійний клапан зворотного тиску.

УФ-стерилізатор/озонатор призначений для знищення патогенів, водоростей та зниження бактеріального навантаження. Встановлюють після біофільтра, перед поверненням води в басейн, типова потужність 10–20 Вт для лабораторної УЗВ.

Нагрівальна та охолоджувальна система для підтримання стабільної температури (для *P. clarkii* - 25–28 °C) - електричний нагрівач (ТЕН), терморегулятор, за потреби — чилер.

Панель моніторингу і керування представлені у вигляді датчиків температури, р, розчиненого кисню, амонію / нітритів, рівня води. Основна функція панелі це збір і візуалізація даних, керування насосами, аерацією, нагріванням, сигналізація про аварійні ситуації.

Додаткові лабораторні модулі. Освітній блок - стенд із схемою циркуляції води, описом процесів фільтрації та газообміну. Прозора демосекція - для спостереження за роботою біофільтра в реальному часі. Модуль дослідження води - комплект для вимірювання рН, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ . Інтерактивна панель - для студентів, що дозволяє регулювати параметри системи й спостерігати наслідки змін.

Освітні можливості лабораторної УЗВ. Демонстрація повного водоочисного циклу (механічна → біологічна → фізична фільтрація). Дослідження біохімічних процесів нітрифікації. Вивчення впливу параметрів середовища на життєдіяльність раків або риби. Навчання методам керування

автоматизованими системами аквакультури. Проведення експериментів із кормовими режимами та щільністю посадки.

Отже, навчальна УЗВ — це ефективна модель для вивчення сучасних технологій аквакультури, біоінженерії та екологічного менеджменту. Вона поєднує інженерні, біологічні й інформаційні компоненти, дозволяючи студентам набувати практичних навичок у керуванні водними біосистемами.

3.4. Розробка технологічної схеми вирощування червоноклешневого рака в умовах лабораторії.

Наведемо короткий огляд етапів (логічна послідовність).

1. Підготовка приміщення та обладнання (RAS/контейнери, фільтрація, нагрів, освітлення).
2. Підбір і карантин/акумуляція маточного стада.
3. Індивідуальний розведення / спаровування, відбір і інкубація ікри.
4. Виведення (hatchery): личинка → ранній постларвальний період.
5. Нурсері (juvenile rearing): переведення в малі баки з високою обслуговуваністю.
6. Догляд/вирощування до товарного розміру у лабораторних танках або RAS.
7. Збирання урожаю, очищення, оцінка здоров'я, утилізація відходів.

Обладнання й план приміщення.

Модульна система: окремі відсіки для карантину, бруд, інкубації/виведення, нурсері, вирощування і технічного блоку (фільтри, резервуари техобслуговування).

Резервуари: круглі або прямокутні пластикові/склопластикові баки 100–1000 л для лабораторних ліній; модульні RAS-лінії для напівінтенсиву.

Фільтрація: механічний фільтр → біофільтр (біологічна очистка, нерідко біопелети або біо-блоки) → механізм ультрафіолету/озонування для зниження патогенів (обережно з озоном).

Аерація: компресори з повітряними каменями; окремі контури для контролю DO у кожному модулі (табл. 7).

Елемент	Характеристика / Рекомендації
Тип системи	УЗВ (установка замкненого водопостачання)
Ємності	Пластикові або скляні акваріуми (50–200 л)
Субстрат	ПВХ-труби, керамічні укриття, сітчасті перегородки
Температура	24–28 °C (контроль за допомогою терморегулятора)
Освітлення	12:12 світло/темрява, LED-лампи
Аерація	Компресор + розпилювачі, забезпечення O ₂ > 5 мг/л
Фільтрація	Механічна + біофільтрація + УФ-стерилізатор

Обладнання контролю: пульти для контролю температури (калорифери/термокамери), рН-метри, зонди DO, портативні тест-набори для амонію/нітритів/нітратів.

Біологічний матеріал потрібно купувати у сертифікованих постачальників або власне маточне поголів'я. Карантин 14 днів із окремим контролем води. Сортуння: за віком і розміром, уникаючи канібалізму.

Щільність посадки та таргетовані стадії.

Брудна (broodstock): утримувати по 1 самцю на 1–3 самки в окремих нерестових вольєрах; індивідуальні укриття.

Інкубація/виведення (hatchery): личинок тримають у менш населених умовах — ~10–50 екз/л (для раннього постларвального періоду; залежить від розміру/віку).

Нурсері (початкова підсадка): від 5 до 30 особин/л у міру росту переводять у більші ємності; в лабораторних умовах краще тримати на нижніх щільностях для кращої виживаності.

Технологічний цикл вирощування (День 1 → 120) (табл 8)

Таблиця 8. Етап 1: Ювенільний (День 1–30) 0,5 → 5 г

Параметр	Значення
Температура	26–28°C
pH	7,2–7,8
DO	6,0–7,5 мг/л
NH ₃	< 0,05 мг/л
Годівля	2 рази/добу, 5–7 % від маси, гранульований стартовий корм (40 % протеїн, Ø0,5 мм)
Підміна води	1 %/добу
Контроль	Щотижня: зважування 30 ос., аналіз води

Етап 2: Нагул (День 31–90) 5 → 30 г

Параметр	Значення
Температура	24–26°C
pH	7,5–8,0
DO	5,5–7,0 мг/л
Годівля	2 рази/добу, 3–4 % від маси, корм Ø2–3 мм (35 % протеїн) + 20 % рослинних добавок (морква, шпинат)
Світло	8 год/добу, 300–500 люкс
Укриття	Додати 50–100 шт. (зростання каннібалізму)
Линька	Моніторинг: після линяння — +50 % корму на 2 дні

Етап 3: Дорощування (День 91–120) 30 → 45–50 г

Параметр	Значення
Температура	22–24°C (уповільнення росту)
Годівля	1–2 % від маси, корм Ø4 мм (30 % протеїн)
Щільність	15–20 ос./м ² (відлов слабких)
Підготовка до вилову	Зниження годівлі за 24 год до 0

Годівля (режим та раціони)

Етап	Корм	Протеїн	Частота	% від маси
1	Стартер (Tetra, Aller Aqua)	40 %	2 рази	5–7 %
2	Нагул (з рослинними добавками)	35 %	2 рази	3–4 %
3	Фінішер	30 %	1 раз	1–2 %

Добавки:

- Кальцій (CaCO₃) — 1 г/кг корму
- Пробіотики (Bacillus subtilis) — 10⁸ КУО/кг
- Вітамін С — 300 мг/кг

Таблиця 9. Моніторинг та коригування

Показник	Частота	Метод
Вода	Щоденно	Датчики (рН, Т, DO)
Азотні сполуки	2 рази/тиждень	Тест-смужки / фотометр
Ріст	1 раз/2 тижні	Зважування вибірки (n=30)
Линька	Щоденно	Візуально (порожні панцирі)
Хвороби	Щоденно	Огляд: млявість, білий хвіст, чорні плями

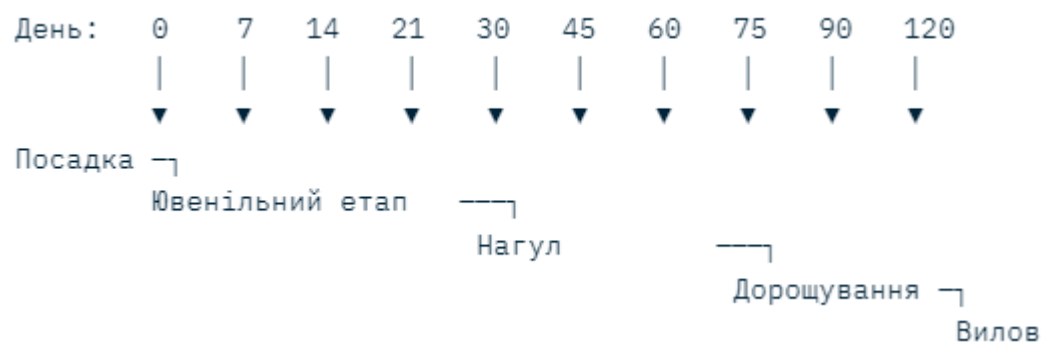
Таблиця 10. Вилів та реалізація (День 120)

Дія	Опис
Голодування	24 год
Вилів	Сіткою або пасткою (ефективність 95 %)
Сортування	За розміром: >40 г — товар, <30 г — дорошування
Охолодження	4–6°C, 2 год (зниження активності)
Пакування	Аеровані контейнери з вологим мохом, 5–10 ос./кг
Вихід: 100–150 ос. × 45 г = 4,5–6,7 кг товарної продукції	

Оцінка ефективності

Показник	Цільове значення
Вживаність	70–85 %
FCR коефіцієнт конверсії корму	1,3–1,5
Приріст маси	0,4–0,5 г/добу
Витрати води	< 100 л/цикл
Енергія	0,8–1,2 кВт·год/добу

На рисунку 10 зображено календарний графік (90-денний цикл).

**Рис. 10. Календарний графік вирощування червоноклешневого рака (90 денний цикл)**

Самки носять ікру під хвостовим щитком; інкубація триває ~3–5 тижнів (залежно від температури). Після виведення личинок — пильний

догляд перші 1–2 тижні. Маніпуляції: в лабораторіях застосовують одно- або двобічну абляцію очних стебел для стимуляції овуляції (тільки під контролем етики/законодавства) — це класична методика для збільшення відтворення, але потребує обережності й регулювання. Якщо мета — етичні дослідження, краще використовувати маніпуляції з температурою/фотоперіодом та відбір найкращих бродів.

Таблиця 11. Ризики та профілактика.

Ризик	Профілактика
Чума раків	SPF-матеріал, UV, кварцові інструменти
Каннібалізм	Укриття, сортування за розміром
Гіпоксія	Резервний генератор, DO-сигналізація
Накопичення H ₂ S	Щотижневе чищення дренажу

Поширені проблеми і рекомендації (коротко)

Коливання температури → сповільнений ріст / підвищена смертність: стабілізувати нагрів і теплоізоляцію.

Переогодовування → погіршення якості води: зменшити порцію, частіше прибирати залишки.

Масові линяння/агресія → збільшити укриття, знизити щільність.

Спалахи захворювань → карантин, біопробы, тимчасове зниження щільності; звернутися до ветеринара-аквакультурника.

3.5. Оптимальні параметри середовища (температура, кисень, корм, щільність посадки) для ефективного росту та розвитку виду.

Оптимальні параметри середовища для вирощування червоноклешневого рака (*Cherax quadricarinatus*) подано нижче, узагальнену таблицю оптимальних умов, перевірених у наукових і промислових дослідженнях, адаптовану для лабораторного або напівінтенсивного вирощування (УЗВ/RAS) (табл. 12).

Параметр	Оптимальне значення	Діапазон допустимих коливань	Коментар / вплив
Температура води	26–28 °C	24–30 °C	Найшвидший ріст при 27 °C. При <22 °C - сповільнення росту, при >31 °C - стрес і підвищена смертність
Розчинений кисень	>5 мг/л	5–8 мг/л	Мінімум 4 мг/л уночі. Забезпечується інтенсивною аерацією (каміння, дифузори, аероліфти)
pH	7.2–8.0	6.8–8.5	Стабільність важливіша за точне значення. Різкі коливання >0.3 од/день викликають линяння або стрес.
Солоність	0–2 ppt (прісна вода)	до 5 ppt тимчасово	Невелика мінералізація може покращувати линяння, але вид — прісноводний
Амоній (NH ₃ /NH ₄ ⁺)	<0.25 мг/л (вільного NH ₃)	до 0.5 мг	Вище — токсично; регулярно тестувати воду
Нітрит (NO ₂ ⁻)	<0.5 мг/л	-	Контролювати біофільтр і підміни
Жорсткість (Ca ²⁺ , Mg ²⁺)	50–200 мг/л CaCO ₃	-	Для правильного формування панцира після линяння

Біологічні та технологічні параметри.

Фактор	Оптимальне значення	Коментар
Щільність посадки	0–40 екз./м ² (при навчальних дослідах) або 50–100 екз./м ³	Висока щільність можлива лише при добрій аерації та укриттях
Щільність у нурсері	5–30 екз./л	З віком поступово розсаджувати
Тип корму	Гранульований комбікорм для ракоподібних з 32–40 % білка, 6–10 % жиру	Додавати свіжі овочі (морква, кабачок), білкову підгодівлю (риба, креветки)
Норма годівлі	2–6 % від маси тіла/день	Залежить від температури й віку; контролювати залишки

Частота годування	Молодь: 3–5 разів/день; дорослі: 1–2 рази/день	Краще давати частіше, але малими порціями.
Фотоперіод	12–14 год світла	Імітує природні умови; стимулює активність та апетит
Укриття	PVC-трубки, черепки, каміння (1 укриття / 1 особина)	Зменшує канібалізм і стрес під час линяння

Біологічні примітки.

Температура та корм — головні фактори росту: підвищення температури до 28 °C при достатньому DO збільшує швидкість росту майже вдвічі порівняно з 23 °C.

Кисень — при дефіциті <4 мг/л раки перестають їсти, сповільнюється линяння.

Щільність — надмірна кількість особин призводить до агресії, відриву клешень, нерівномірного росту.

Підміни води — 10–20 % раз на тиждень або за потреби для зниження нітратів.

Орієнтовна динаміка росту при оптимальних умовах.

Juvenile (1–5 г) → 4–6 тижнів.

Підліткова стадія (5–30 г) → 2–3 місяці.

Товарна маса (50–100 г) → 5–6 місяців (за 26–28 °C, DO ≥ 5 мг/л, білковий корм).

Висновки

1. Використання систем УЗВ для вирощування Червоноклешневий рак (*Cherax quadricarinatus*) - це інноваційний, економічно вигідний і екологічно безпечний напрям сучасної аквакультури. Такий підхід забезпечує стабільне виробництво якісного білка, мінімізує ризики та відкриває перспективи для малих і середніх підприємств.

2. У процесі дослідження сучасних технологій вирощування ракоподібних у системах замкнутого водопостачання (УЗВ) встановлено, що цей напрям є одним із найперспективніших у розвитку світової аквакультури. Системи УЗВ забезпечують стабільний контроль основних параметрів водного середовища (температури, рівня кисню, рН, концентрації амонію та нітритів), що сприяє інтенсивному росту та високій виживаності особин. На прикладі вирощування *Procambarus clarkii* доведено ефективність використання рециркуляційних технологій, які дозволяють значно скоротити витрати води, підвищити біобезпеку та отримувати якісну продукцію протягом усього року.

3. Застосування автоматизованих систем моніторингу, біофільтрації та енергоощадного обладнання робить УЗВ універсальною платформою як для промислового, так і для навчально-дослідного використання. Отримані результати підтверджують, що впровадження технології вирощування *Procambarus clarkii* в умовах УЗВ сприяє підвищенню ефективності аквакультурного виробництва, розвитку екологічно орієнтованого фермерства та формуванню сучасної навчальної бази з аквакультури.

4. Установка замкнутого водопостачання (УЗВ), адаптована для навчальних цілей, - це модульна мініатюрна система, що відтворює принципи промислових УЗВ у зменшеному масштабі. Її основне призначення - демонстрація фізико-біологічних процесів очищення води, життєзабезпечення гідробіонтів і контролю параметрів середовища. Навчальна УЗВ — це ефективна модель для вивчення сучасних технологій аквакультури, біоінженерії та екологічного менеджменту. Вона поєднує

інженерні, біологічні й інформаційні компоненти, дозволяючи студентам набувати практичних навичок у керуванні водними біосистемами

5. Для забезпечення швидкого росту та високої виживаності австралійських червоноклешневих раків у системах замкнутого водопостачання (УЗВ) рекомендуємо підтримувати температуру в межах 26–28 °С, розчинений кисень не нижче 5 мг/л, рН у діапазоні 7,2–8,0, жорсткість води 80–150 мг/л, амоній (NH_3) нижче 0,25 мг/л, нітрит (NO_2^-) нижче 0,5 мг/л. Використовувати високоякісні гранульовані корми з вмістом білка 35–40 % і жиру 6–10 %. Годувати 2–3 рази на день у кількості 3–5 % від маси тіла; прибирати залишки корму для запобігання забрудненню води. Забезпечити оптимальну щільність посадки для молоді 30–50 особин/м², для дорослих 10–20 особин/м² (або до 80 особин/м³ в інтенсивних УЗВ). Забезпечити укриття для кожної особини (ПВХ-трубки, черепки, каміння) для зниження агресії та канібалізму. Забезпечити ефективну біофільтрацію та циркуляцію води.

Список використаних джерел

1. Австралійський червоноклешневий рак як об'єкт аквакультури в Україні. Державне агентство меліорації та рибного господарства : веб-сайт. URL: https://darg.gov.ua/_avstralijskij_0_0_0_9420_1.html (дата звернення: 18.04.2025).
2. Австралійський червоноклешневий рак. Tetra : веб-сайт. URL: <https://blog.tetra.net/uk-ua/avstraliiskyi-chervonokleshnevyi-rak> (дата звернення: 18.04.2025).
3. Алимов С. І. Рибне господарство України: стан і перспективи: підручник. Київ: Вища освіта, 2003. 336 с.
4. Андрющенко А. І. Технологія виробництва продукції аквакультури: навч. посіб. Київ, 2006. 336 с.
5. Андрющенко А. І., Алимова С. І. Ставове рибництво: підручник. Київ : Видавничий центр НАУ, 2008. 636 с.
6. Бакіна І. О. Природний ареал проживання австралійського червоноклешневого рака. Проблеми виробництва і переробки продовольчої сировини та якість і безпечність харчових продуктів: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, 18 травня 2023 р. Житомир, 2023. С. 102-103.
7. Вирощування австралійських раків як перспективний напрямок бізнесу. Портал агробізнесу : веб-сайт. URL: <https://agrostory.com/ua/info-centre/zivotnovodstvo/razvedenie-avstraliyskogo-raka-kak-perspektivnoe-napravlenie-biznesa/> (дата звернення: 16.03.2025)
8. Гарнаженко Ю. А. Аналіз імпорту риби- та морепродуктів в Україні. Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького. 2014. Вип. 59. С. 275–280.
9. Гринжевський М. В. Аквакультура України (організаційно-економічні аспекти). Львів : Вільна Україна, 1998. 365 с.
10. Гринжевський М. В. Аквакультура України: стан та перспективи розвитку. Вісник аграрної науки. 2002. Випуск 4. С. 34–38.

11. Давидов О. М. Основи ветеринарно-санітарного контролю у рибництві : посібник. Київ : Фірма "Інкос", 2004. 144 с.
12. Давидов О.М. Сучасні аспекти оздоровлення риб в аквакультурі. Київ: інститут зоології НАН України, 1998. 112 с.
13. Дітрів І. В. Тенденції і перспективи світового ринку риби та морепродуктів. Вісник Миколаївського національного університету ім. В.О. Сухомлинського. 2014. Вип. 2. С. 62–65.
14. Довідник рибовода : підручник. / П. Т. Галасун та ін. Київ, 1985. 184 с.
15. Екологічні аспекти вирощування ракоподібних в світі / М. Слюсар, О. Сазонський, І. Бакіна, К. Плахота. Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва і переробки продукції тваринництва: матеріали II Всеукраїнської конференції молодих вчених та здобувачів, 15 грудня 2022 р. Житомир, 2022. С. 121–123.
16. Інтенсивне рибництво: зб. інструктивно-технологічної документації/ редкол.: П. М. Марценюк. Київ: Аграрна наука, 1995. 186 с.
17. Коваленко В.О. Індустріальне рибництво : методичні вказівки до самостійної роботи студентів. Київ: Аграр Медіа Груп, 2011. 140 с.
18. Слюсар М., Сазонський О., Бакіна І., Плахота К., Муженко А. Основні аспекти раківницької справи на прикладі австралійського червоноклешневого рака / Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва і переробки продукції тваринництва: матеріали II Всеукраїнської конференції молодих вчених та здобувачів, 15 грудня 2022 р. Житомир, 2022. С. 118–121.
19. Правила відбору зразків патологічного матеріалу, крові, кормів, води та пересилання їх для лабораторного дослідження: затв. Головою Державного департаменту ветеринарної медицини Мінсільгосппроду України П. П. Достоевським від 15 квіт.1997 р. № 15. С. 23-27.
20. Слюсар М. В. Ткачук В.І. Муженко А. В. Технологічні аспекти вирощування австралійського червоноклешневого рака. Проблеми

виробництва і переробки продовольчої сировини та якість і безпечність харчових продуктів : зб. наукових праць міжнар. наук.-практ. конф., 13-14 травня 2021 р. Житомир : Поліський національний університет, 2021. С. 130-133.

21. Технології виробництва об'єктів аквакультури / Андрющенко А. І., Алимов С. І., Захаренко М. О., Вовк Н. І. Київ: Вища освіта, 2006. 336 с.

22. Фауна України. В 40 т. Т. 26. Вищі раки. Вип.3. Річкові раки / С. Я. Бродський. Київ : Наукова думка, 1981. 211 с.

23. Фізіологія риб : підручник. / П. А. Дехтяров та ін. Київ: Вища школа, 2001. 128с.

24. Швидкий австралійський рак. Agro times : веб-сайт. URL: <https://agrotimes.ua/article/shvidkij-avstralijskij-rak/> (дата звернення: 07.05.2025).

25. Шерман І. М., Євтушенко М. Ю. Теоретичні основи рибництва: підручник. Київ: Фітосоціоцентр, 2012. 484 с.

26. Borisov R. R., Tertitskaya A.G. The process of the tail fan formation in freshwater crayfish. *Freshwater Crayfish*. 2010. Vol. 17, № 1. P. 235-238.

27. Brown, J.H. Antibiotics: their use and abuse in aquaculture. *World Aquaculture*. 1989. Vol. 20, №. 2. P. 34–43.

28. Calvo N. S., Stumpf L., Pietrokovsky S. Early and late effects of feed restriction on survival, growth and hepatopancreas structure in juveniles of the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. *Aquaculture*. 2011. Vol. 319, №1. P. 355–362. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.06.033> (date of access: 17.05.2025).

29. Crandall K. A., Buhay J.E. Global diversity of crayfish in freshwater. *Hydrobiologia*. 2008. Vol. 595, № 1. P. 295-301.

30. Dammannagoda L. K., Hurwood D. A., Mather P.B. Effects of soluble dietary cellulose on specific growth rate, survival and digestive enzyme activities in three freshwater crayfish (*Cherax*) species. *Aquaculture Research*. 2015. Vol.

46, №3. P. 626–636. URL: <https://doi.org/10.1111/are.12209> (date of access: 17.05.2025).

31. FAO commission on Genetic Resources for Food and Agriculture assessments. The state of the world's aquatic genetic resources for food and agriculture. Rome: FAO. 2019. 251 p.

32. Golub G.A., Zavadska O.A., Kukharets V.V. Development of block diagrams of closed water supply installation for aquaculture production. Scientific horizons. 2019. Vol. 5, No 78. P. 105-111. URL: <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2019-78-5-105-111>. (date of access: 06.05.2025).

33. Jones C. M., Valverde C. A. Development of mass production hatchery technology for the red claw crayfish *Cherax quadricarinatus*. Freshwater Crayfish. 2020. Vol. 25, No 1. P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.5869/fc.2020.v25-1.001> (date of access: 06.05.2025).

34. Kalayda M. L., Sadykova L. N. Prospects for the cultivation of Australian red claw crayfish *Cherax quadricarinatus* on warm waters of energy facilities. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/288/1/012048> (date of access: 03.05.2025).

35. Kapuscinski A. R., Hallerman E. M. Implications of introduction of transgenic fish into natural ecosystems. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science. 1991. Vol. 48, №. 1. P. 99–107.

36. Masser M. P., Rouse B. D. Australian Red Claw Crayfish. Auburn: The Alabama Cooperative Extension Service, 1997. 20 p.

37. Трохименко В.З., Ковальчук Т.І., Захарін В.В., Безверха Л.М. Управління якістю тваринницької сировини. *Вісник СНАУ. Серія «Тваринництво»* 2023. Вип. 1 (52), 2023. С. 51-58. DOI: <https://doi.org/10.32782/bsnau.lvst.2023.1.8>.

38. Трохименко В., Ковальчук Т., Куликівський А., Курсон А., Посонський А., Павлюк В. Ведення органічного рибництва в зоні Полісся *Органічне виробництво і продовольча безпека: цифрові технології та інновації* : збірник праць учасників XII Міжнародної науково-практичної

конференції (15–16 травня 2025 р.). Житомир: Поліський нац. університет, 2025. С. 160-161.

39. Куликівський А., Курсон А. Технологічні рішення для вирощування гідробіонтів у замкнутих системах: досвід з ракоподібними та коропоподібними. *Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва і переробки продукції тваринництва* : зб. наукових праць V Всеукр. наук.-практ. конф., 18 грудня 2025 р. м. Житомир : Поліський національний університет, 2025. С.

40. Курсон А. Технологічні особливості вирощування ракоподібних в установках замкнутого водопостачання. *Наукові здобутки у вирішенні актуальних проблем виробництва і переробки продукції тваринництва* : зб. наукових праць V Всеукр. наук.-практ. конф., 18 грудня 2025 р. м. Житомир : Поліський національний університет, 2025. С.