НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет тваринництва та водних біоресурсів

ПОГОДЖЕНО	**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**
Декан факультету тваринництва та водних біоресурсів	**Завідувач кафедри аквакультури**
_____ Руслан КОНОНЕНКО	**_____ Віталій БЕХ**
«___»_____2026 р.	**«___»_____2026 р.**

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Проєкт товарного форелевого господарства на базі технології РАС потужністю 150 тонн»

Спеціальність: 207 Водні біоресурси та аквакультура

Освітня програма Водні біоресурси та аквакультура

Гарант освітньої програми
к.с.-г.н., доцент _____ **Меланія ХИЖНЯК**

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
д. с-г. н., професор _____ **Віталій БЕХ**

Виконав _____ **Михайло САВЧУК**

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет тваринництва та водних біоресурсів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри аквакультури

д.с.-г.н., проф. _____Віталій БЕХ

«___»_____2025 р.

ЗАВДАННЯ

до виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

САВЧУКУ МИХАЙЛУ ОЛЕКСАНДРОВИЧУ

Спеціальність 207 Водні біоресурси та аквакультура
Освітня програма Водні біоресурси та аквакультура
Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Проєкт товарного форелевого господарства на базі технології РАС потужністю 150 тонн»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «31» жовтня 2025 р. № 2627 «С»
Термін подання завершеної роботи на кафедру 2026.05.16

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: виробничий цикл від молоді до товарної риби, годівля повноцінними гранульованими комбікормами, басейнова рециркуляційна аквакультурна система (РАС), річний обсяг виробництва товарної риби - 150 тонн.
Перелік питань, які потрібно розробити: Рибницько-біологічна характеристика і господарська цінність райдужної форелі; Аналіз технологій товарного вирощування райдужної форелі в басейнах; Стан і перспективи розвитку ринку товарної райдужної форелі в Україні; Обґрунтування вибору місця будівництва господарства; Схема і детальне описання технології товарного басейнового вирощування райдужної форелі в РАС; Розрахунки потреби у виробничій площі, технологічному обладнанні, басейнах та їх характеристиках, біологічному матеріалі, рибних кормах під задану потужність. Економічна ефективність виробництва товарної продукції райдужної форелі на проєктному господарстві.

Дата видачі завдання «_____»_____2025 р.

Керівник бакалаврської

кваліфікаційної роботи _____ Віталій БЕХ

Завдання прийняв до виконання _____ Михайло САВЧУК

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему «Проєкт форелевого господарства на базі технології РАС потужністю 150 тонн» є актуальною, оскільки відповідає сучасним тенденціям технологічного розвитку рибної галузі та світовому курсу на збільшення кількості якісної продукції аквакультури, може використовуватись як основа для створення сучасніших проєктів рибницьких господарств, які відповідають сучасним технологічним досягненням. Впровадження технології RAS дає змогу забезпечити стабільний випуск товарної продукції не залежачи від сезонних змін, оптимізувати використання наявних водних ресурсів та зменшити антропогенний вплив на навколишнє середовище.

Наявна робота виконана на 80 сторінках, включає в себе 10 рисунків, 6 таблиць. Для написання бакалаврської роботи було використано 46 джерел інформації, до яких відносяться підручники, посібники, монографії, наукові статті та інші доступні інтернет-джерела що відповідають темі дипломної роботи.

Райдужна форель займає провідні позиції у світовій та вітчизняній аквакультурі завдяки інтенсивним темпам росту та винятковим дієтичним властивостям продукції, що користується попитом. Актуальність створення даного проєкту зумовлена необхідністю переходу галузі на сучасні наукоємні технології, зокрема використання елементів систем замкнутого водопостачання, які дають змогу мінімізувати залежність від зовнішніх чинників, що є актуальним для України через обміління річок та глобальне потепління.

Розробка біолого-технологічного обґрунтування такого господарства має стратегічне значення для підсилення продовольчих можливостей України перед можливим вступом до складу ЄС та для імпортозаміщення, наповнення внутрішнього ринку доступною свіжою продукцією високої якості. Розробка

та реалізація проєктів рибних господарств сприяє створенню нових робочих місць та формуванню регіональних споживчих баз. Основну увагу в роботі приділено аналізу факторів інтенсифікації та методикам їх впровадження в цикл вирощування для забезпечення високих показників рентабельності в сучасних економічних умовах, враховуючи дотримання максимально наближених до ідеальних умов утримання райдужної форелі.

Метою роботи є розробка біолого-технологічного обґрунтування проєкту форелевого господарства потужністю 150 тон на рік із використанням технологій замкнутого водопостачання.

Об’єкт дослідження – сучасні технології інтенсивного вирощування райдужної форелі в рециркуляційних аквакультурних системах.

Предмет дослідження – теоретичні, технологічні та економічні засади проєктування форелевих господарств.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений проєкт установки замкненого циклу рекомендується до впровадження як сучасне рішення для створення індустріальних аквакультурних господарств у регіонах країни, що можуть забезпечити господарство необхідним рівнем водопостачання та площ, знаходитись поблизу точок збуту для забезпечення споживачів свіжою рибною продукцією високої якості.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РАЙДУЖНА ФОРЕЛЬ, РЕЦИРКУЛЯЦІЙНІ АКВАКУЛЬТУРНІ СИСТЕМИ (РАС, RAS), РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ, ТОВАРНА РИБНА ПРОДУКЦІЯ, ІНДУСТРІАЛЬНА АКВАКУЛЬТУРА.

ЗМІСТ

ВСТУП…….8

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ ФОРЕЛІ В АКВАКУЛЬТУРІ УКРАЇНИ (огляд літератури)……10

1.1. Біологічні особливості райдужної форелі як об'єкта аквакультури……10

1.2. Аналіз технологій вирощування райдужної форелі…….20

1.3. Висновки за оглядом літератури……23

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ……26

2.1. Розрахунок потреби у посадковому матеріалі……..26

2.2. Методика моделювання росту риби (TGC-модель) ……28

2.3. Методика розрахунку необхідного об’єму рибоводних басейнів……30

2.4. Методика розрахунку годівлі та ефективності кормовикористання……..31

2.5. Методика розрахунку масового балансу загального амонійного азоту (TAN) в системі……..33

2.6. Методика розрахунку гідравлічного балансу системи (водообмін та підживлення)……..34

2.7. Методика розрахунку параметрів біологічного фільтра……..35

2.8. Методика розрахунку механічного очищення води……..37

2.9. Методика розрахунку кисневого балансу системи……...38

2.10. Методика вибору обладнання……..38

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕННЬ……...40

3.1. Обгрунтування вибору місця розташування господарства…….40

3.2. Технологічна схема виробництва продукції райдужної форелі на проєктованому підприємстві, розрахунки для технологічної схеми…….49

3.3. Організація годівлі об’єкту культивування……...52

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА……57

4.1. Розрахунок потреби в рибогосподарському матеріалі…….57

4.2. Розрахунок темпів росту риби (TGC-модель)……..57

4.3. Розрахунок необхідного об’єму рибоводних басейнів…….58

4.4. Розрахунок годівлі та ефективності кормовикористання…….58

4.5. Розрахунок масового балансу загального амонійного азоту (TAN) в системі …….59

4.6. Розрахунок гідравлічного балансу системи (водообмін та підживлення)……..59

4.7. Розрахунок параметрів біологічного фільтра……...60

4.8. Розрахунок системи механічної фільтрації……...61

4.9. Розрахунок кисневого балансу системи……61

4.10. Розрахунки та вибір обладнання……..61

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ……..65

5.1. Розрахунок капітальних вкладень у будівництво та обладнання……65

5.2. Розрахунок амортизаційних витрат……..66

5.3. Розрахунок витрат на оплату праці……...67

5.4. Розрахунок собівартості продукції……68

5.5. Фінансові результати та показники ефективності……68

ВИСНОВКИ……..70

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ……...72

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ…….73

ВСТУП

У сучасному світі спостерігається стрімке зростання попиту на якісні продукти аквакультури. Традиційне рибальство вичерпує наявні природні ресурси, стикаючись з проблемою забезпечення населення необхідним видовим різноманіттям продукції, її безпечністю та якістю. Загальне виробництво світової аквакультури вже перевищує обсяги вилову, що вказує на незворотну тенденцію переходу від експлуатації природних ресурсів до контрольованого інтенсивного вирощування гідробіонтів. Рибництво стає ключовим елементом продовольчої безпеки, та акцент галузі має зміститись на високотехнологічні методи господарювання, що дозволяють отримувати прогнозований результат незалежно від примх природи та патогенів [38].

В Україні обсяги виробництва форелі складають невеликий відсоток та не задовольняють внутрішній попит. За 2023 рік було вирощено 940 тонн райдужної форелі, як наслідок вітчизняний рибний ринок значною мірою залежить від імпорту лососевих видів з Норвегії та Чилі, що робить ціноутворення чутливим до коливань валюти та проблем з логістикою. Відродження вітчизняного форелівництва дало б змогу не лише забезпечити ринок свіжою продукцією перевірено високої якості, а й створити нові робочі місця, збільшити фіксовані та стабільні надходження до бюджету [46].

Однак, ситуація з природним вирощуванням ускладнюється через кліматичні зміни: все частіше фіксуються обміління річок (наприклад, критичне зниження рівнів води в річці Сула Сумської області), підвищення температур води у літній період та погіршення її якості через евтрофікацію та антропогенний вплив. Ці зміни є критичними для холодноводної райдужної форелі, підвищення температури до 20+°С призводить до стресу, хвороб, порушення репродуктивної функції, смерть. Вищі температури також впливають і на рівень розчиненого кисню у воді, що ускладнює підтримання

сталого рівня інтенсивної годівлі риби. Таким чином розвиток форелівництва стає стратегічним завданням [37].

Вітчизняні форелеві господарства, наприклад господарство у Чернівецькій області “Лопушно”, часто залежать від річкового водопостачання, де сезонні коливання вносять корективи у цикли вирощування і, відповідно, у рентабельність. Температура води на господарстві взимку складає від 4 до 6°С, коли температура артезіанської води в свердловинах тримається на стабільному рівні в 8-12°С. Біологічний оптимум для росту райдужної форелі становить 15-18°С, при його дотриманні швидкість росту досягає максимальних доступних показників, а конверсія корму досягає найбільш економічно вигідних значень [39].

Таким чином, розвиток форелівництва в умовах відкритого неба стає ризикованим, що вимагає пошуку сучасних технологічних рішень. Вирішенням перерахованих проблем є перехід до індустріальних технологій, зокрема установок замкнутого водопостачання. Саме RAS системи дозволяють створити штучний мікроклімат незалежний від зовнішніх умов, що дозволяють підтримувати оптимальний температурний режим протягом року, тим самим скорочуючи виробничі цикли вирощування товарної форелі з 24 місяців до 6-8 місяців.

Окрім того, впровадження систем замкнутого типу відповідає сучасним екологічним стандартам, що цінується споживачем. Це дає змогу мінімізувати споживання свіжої води за рахунок рециркуляції та очищення, та невелювати негативний вплив на довкілля шляхом контрольованого збору та утилізації відходів виробництва. Усі перераховані факти обумовлюють актуальність теми кваліфікаційної роботи, що присвячена проєктуванню сучасного форелевого господарства на базі RAS системи.

Метою роботи було розробити біолого-технологічне обґрунтування до проєкту форелевого господарства потужністю 150 тон на рік із використанням технологій замкнутого водопостачання.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати біологічні особливості райдужної форелі та сучасну методику вирощування її в установках замкненого водопостачання.

2. Охарактеризувати природні та кліматичні умови району розташування проєктованого господарства.

3. Розробити схему технологічного процесу вирощування райдужної форелі від рибопосадкового матеріалу до товарної маси.

4. Розрахувати потребу господарства у водопостачанні, технологічному обладнанні, рибопосадковому матеріалі, кормах.

5. Підібрати необхідне технологічне обладнання, спираючись на визначену потужність проєктованого господарства.

6. Визначити основні економічні показники діяльності підприємства.

Даний проєкт може бути цікавим з практичної точки зору як основа для побудови форелевих фермерських господарств з застосуванням сучасних технологій рециркуляційних аквакультурних систем.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОЩУВАННЯ ФОРЕЛІ В АКВАКУЛЬТУРІ УКРАЇНИ (огляд літератури)

1.1 Біологічні особливості райдужної форелі як об'єкта аквакультури

Райдужна форель є представником родини лососевих (*Salmonidae*) роду *Oncorhynchus*. Природним ареалом виду є холодні прісноводні річки та озера Тихоокеанського узбережжя Північної Америки та Азії. Форель була інтродукована майже у 82 країни світу, де було створено сприятливі умови вирощування та утримання, завдяки її здатності витримувати широкий діапазон екологічних умов значно краще за інші види лососевих. Варто зазначити що райдужна форель наразі є важливою рибою, а також користується попитом як об'єкт спортивної риболовлі.



Рис. 1.1. Райдужна форель (*oncorhynchus mykiss)* [45]

На основі штучних популяцій науковцями було створено та виведено численні лінії та породи з корисними на практиці господарськими ознаками: високою життєздатністю, більш інтенсивним ростом, стійкістю о окремих видів захворювань [1]. Важливим для м'ясної індустрії став генетично модифікований вид райдужної форелі, що завдяки обробці температурою та тиском на певних стадіях розвитку ембріона отримує додатковий набір

хромосом - такі особини не можуть розмножуватись, через що використовують енергію від корму для росту та набору маси, а не на розвиток статевих гонад [2].

Морфологія

Тіло форелі сплющене з боків, має типову обтічну видовжену форму та вкрите дрібною сріблястою лускою. Видовою ознакою є наявність характерного жирового плавця. Усі плавці складаються тільки з м'яких променів. Спинний та анальний налічують в середньому 10-12 променів. Форму спинного плавця можна охарактеризувати як опуклу, а край анального переважно заокруглений та має перетинку посередині. З часом перетинка зникає, зазвичай це відбувається в дорослому періоді, в віці 5-6 років.

Меристичні ознаки характеризуються такими показниками: уздовж бічної лінії розташовано 135-137 лусок, вище неї – 17-27 рядів, нижче – 21-29 рядів луски. Беручи до уваги морфометричний аналіз західноукраїнської популяції форелі довжина риби за Сміттом складає 102,5-103,4% від довжини тіла. Найбільша висота тіла варіює в межах 25-25,7 %, в той час найменша – 8,6-9,5 %.

Вікова мінливість та статевий диморфізм

Довжина голови становить в середньому 22 % від довжини тіла, але цей показник змінюється з віком форелі. У молоді (цьоголіток та дволіток) голова відносно невелика, тоді як у старших вікових груп, особливо у самців вона значно збільшується за рахунок видовження рострума та нижньої щелепи. Рот кінцевий, великий.

Морфометричні та пластичні ознаки райдужної форелі характеризуються своєю варіабельністю та залежать від умов вирощування, генетичних особливостей, віку та статі. Спостерігається алометричний ріст: зі збільшенням віку зменшується відносна довжина тіла та довжина основи спинного плавця, постдорсальна відстань.

Статевий диморфізм у дволіток виражений слабко (різниця з антедорсальною відстанню, довжиною рила та щелеп статистично недостовірна). Однак у 5-річних плідників відмінності стають доволі суттєвими. Самці в період нересту окрім зміни свого звичного вбрання на шлюбне яскраве та забарвленням бічної смуги також на нижній щелепі утворюють хрящовий гак. Достовірно перевірена різниця між статями у цьому віці проявляється у збільшенні довжини голови, ширині лоба, довжині рила, та довжині верхньої та нижньої щелеп у самців [3].

Екологічні вимоги

Райдужна форель (*Oncorhynchus mykiss*) є типовим представником холодноводних видів риб, що активно культивуються в умовах індурстіальної аквакультури. Для забезпечення високої рибопродуктивності та підтримки належного фізіологічного стану риб необхідно суворо дотримуватись параметрів водного середовища, які регламентуються нормативними документами з урахуванням гранично допустимих концентрацій (ГДК).

До основних абіотичних чинників що визначають ефективність вирощування форелі відносяться: температурний режим, вміст розчиненого кисню, водневий показник, вміст азотних сполук та інших домішок у воді, світловий режим що критично важливий для молоді та гідродинамічні показники поданого потоку води.

Природним біотопом виду є гірські річки з швидкою течією, озера з джерельним живленням, а також прибережні акваторії холодних морів для прохідних форм. Райдужна форель відноситься до евригалинних риб: завдяки розвинутій системі осморегуляції вона може жити як в солоній так і в прісній воді. Цю біологічну особливість активно використовують у світі, особливо у Норвегії та Чилі. Це дозволяє людям вирощувати форель не лише у прісноводних господарствах, а і у морських садках [3]. Також існують дослідження що вказують на швидший ріст форелі у солонуватій воді, що

активно використовується на господарствах у Польщі. Цей ефект пояснюють зменшеною потребою в енергії що подається на клітинні насоси для вирівнювання осмотичного тиску рідин організму форелі, через що ця єнергія перенаправляється на ріст. Дослідження Yiğit & Aral вказує на перевагу абсолютного приросту у солоній воді для форелі з середньою початковою масою в приблизно 86 грам на рівні 46 % за 90 днів проведення експерименту [4].

Температура води безпосередньо впливає на швидкість метаболізму, споживання корму, ефективність його засвоєння, та, як наслідок, на темпи росту риби. Згідно з даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), райдужна форель толерантна до широкого діапазону температур, однак оптимальні показники для найбільш інтенсивного росту варіюють в межах 13-16°C [5]. Детальне схематичне зображення діапазонів температур наведено на рисунку 1.2. При температурах нижче чи вище за діапазон 7-18°C форель втрачає апетит, також зазначається що існує обернена кореляція між інтенсивністю годування та перетравленням спожитого корму. Таким чином, форель при температурі в 18°C може харчуватися дуже інтенсивно, але відсоток засвоєння та перетравлення спожитого корму буде нижчим ніж при більш низьких температурах [7]. Проведені наукові дослідження вказують на те що форель може виживати при температурах до 25°C протягом короткого періоду часу, а тривале перебування при цих температурах викликає термічний стрес, що призводить до пониженого апетиту та пригнічення імунної системи, підвищуючи сприйнятливість риби до захворюваннь таких як *Mycobacterium marinum*. Також в дослідженнях Pankhurst et al. (1996) описується думка про те що температури вирощування вище за 15°C можуть призводити до порушення розвитку гонад [5]. Від температур води залежить також токсичність багатьох речовин та розчинність кисню.



Рис.1.2 Діапазони температур для райдужної форелі на різних стадіях розвитку [7]

Максимальний вміст кисню у воді залежить від температури води, що пов’язано з тим що вода може вмістити у себе обмежену кількість кисню, що залежить від парціального тиску кисню в атмосфері. Чим вища температура тим менша кількість кисню може розчинитися у воді, і навпаки [7]. Райдужна форель є оксифільною рибою. Оптимальна концентрація кисню становить 9-11 мг/л, що відповідає 90-100% насичення. Допустиме зниження вмісту кисню – до 7 мг/л. За нижчих показників зазвичай спостерігається обмеження фізіологічних функцій, а саме живлення та росту. Летальна концентрація вмісту кисню становить близько 1,5-2,5 мг/л [8]. На виході з басейнів концентрація кисню має складати не нижче 6 мг/л.

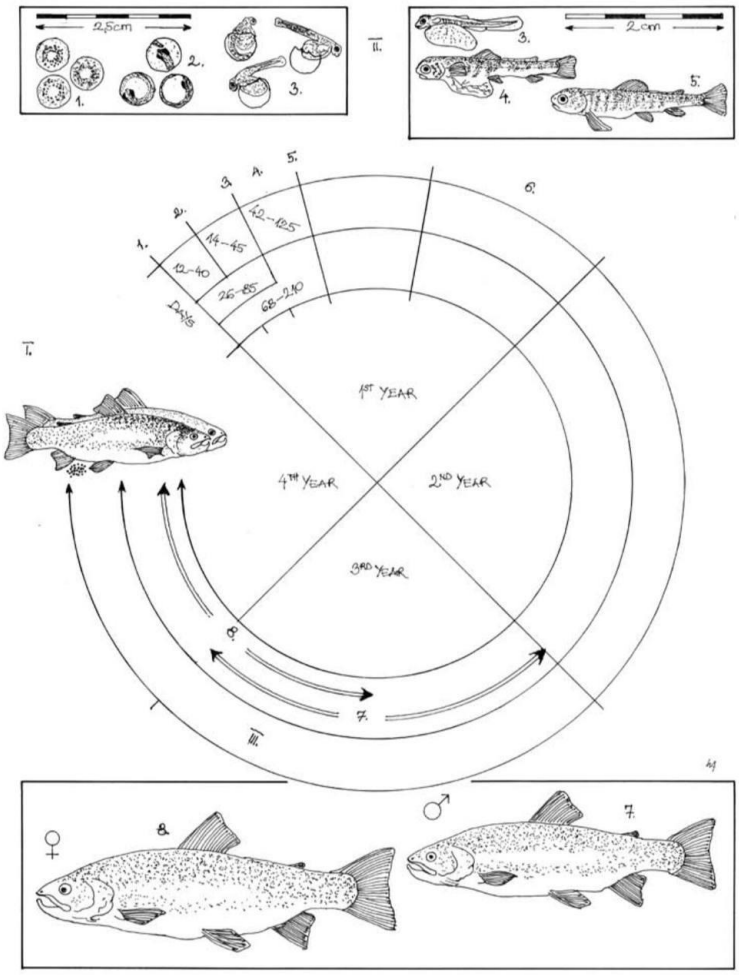


Рис.1.3 Життєвий цикл та стадії розвитку райдужної форелі в дикій природі (*Oncorhynchus mykiss*) (за Huet, 1970)

Стадії розвитку:

1 — запліднені ікринки;
2 — ікринки на стадії формування очей (стадія «ікринка з оком»);
3 — щойно вилуплені личинки (з жовтковим мішком);
4 — личинки, що розпочали активне плавання;
5 — мальки;
6 — однорічна молодь;
7 — статевозрілі самці (♂);
8 — статевозрілі самки (♀), готові до нересту.

Основні етапи розвитку:

I — нерест;

II — ембріональний і ранній постембріональний розвиток (від заплідненої ікринки до малька);

III — ріст, розвиток і статеве дозрівання риб.

Фактичний початок, тривалість та темпи проходження окремих стадій розвитку залежать від температурного режиму води, генетичних особливостей популяції, а також кількості та якості доступної природної кормової бази.

Кисень в системі також важливий для окислення органічних речовин, що накопичуються в рибоводних ємностях внаслідок виділення екскриментів рибою та залишками кормів. Риба виділяє у воду вуглекислоту що при накопичені заважає їй споживати кисень та знижує pH. При наявності оптимальних рівнів кисню, допустимим значенням вмісту кисню є 10 мг/л. За вищої концентрації стають помітними порушення в обміні речовин та сповільнюється ріст. За концентрацій вище за 30 мг/л з'являються ознаки кисневого голодування, фіксується порушення рівноваги. Райдужна форель потребує дотримання показників реакції середовища в межах 6,5-7,5, тобто ближче до нейтрального pH.

Варто також зазначити, що райдужна форель є чутливою до сторонніх домішок та токсичних речовин, таких як мідь, цинк, хлор, сірководень тощо. Також вміст продуктів обміну не має перевищувати допустимого рівня, його допомагає контролювати біофільтр. Максимально допустима концентрація аміачного азоту NH_4^+ становить 0,5 мг/л [3, 8].

Райдужна форель є чутливою до вмісту азотистих сполук у воді, зокрема до аміаку та нітритів. Неіонізована форма аміаку NH_3 є найбільш токсичною та при малих концентраціях може порушувати функцію зябер та суцільно впливати на обмінні процеси організму, пригнічувати ріст. За високих концентрацій відбувається мор риби. У досліджені проведеному на молодих та дорослих особинах форелі на різних стадіях розвитку значення 96-годинної LC50 для неіонізованого аміаку коливалася в межах 0,16-1,1 мг/л в залежності від віку особин форелі. Чутливість до аміаку знижувалася при переході личинки до стадії малька, а після настання цього етапу розвитку знов починала зростати [9].

Токсичність аміаку цілком залежить від температури та водневого показника води (pH). Зі збільшенням температури та pH кількість токсичного неіонізованого аміаку NH_3 зростає над кількістю іонізованої форми. Чутливість форелі до аміаку можна пояснити тим що вона є холодноводною рибою.

Нітрити (NO_2^-) утворюються в воді як продукт розкладання аміаку нітрифікуючими бактеріями. Ці сполуки є токсичними для форелі навіть в низьких концентраціях, це описано в спеціальних дослідженнях, присвячених впливу нітритів на райдужну форель. За результатами досліджень було виявлено що утримання риби в воді з концентраціями нітритів на рівні 0,01 мг/л вже призводило до гістологічних змін у зяберних структурах та змін у біохімії крові. Рівень глюкози був підвищений, а рівень калію знижений відносно нормальних показників крові райдужної форелі. При підвищених концентраціях нітритів вище 1 мг/л вони були помічені у складі плазми крові риб, при найвищій перевіреній концентрації в 3 мг/л нітрити були поміщені і у м’язовій тканині форелі [10]. При потраплянні нітритів у кров вони сприяють формуванню у ній метгемоглобіну шляхом зв’язування з гемоглобіном, тим самим заважаючи перенесенню кисню гемоглобіном, створюючи ефект кисневого голодування навіть при нормальних концентраціях розчиненого кисню у воді. Льюїс і Морріс (1986) вказують на значну варіабельність токсичності нітритів для риб в залежності від гідрохімічних показників води. В їх дослідженнях 96 годинна летальна концентрація LC50 для райджної форелі коливалася в діапазоні 0,24-12,2 мг/л. Вплив хлоридів на токсичність нітритів є значним, чим більше хлоридів у воді, тим більші концентрації нітритів потрібні для нанесення негативного впливу на рибу. Токсичність нітритів також знижується при підвищених рівнях гідрокарбонатів, калію, натрію, кальцію та інших іонів, але їх вплив є значно нижчим на токсичність у

порівнянні з хлоридами. Токсична дія нітритів знижується через конкурування їх з одновалентними іонами за транспортні шляхи в зябровому епітелії риб.

Токсичність нітратів (NO_3^-) для риб є доволі низькою, їхня токсична дія проявляється зазвичай тільки при перебільшені концентрацій в 1000 мг/л. Максимальною допустимою концентрацією для форелі вважають 20 мг/л. Їх контроль є менш критичним, через те що нітрати виводяться з систем вирощування зі стічними водами, розбавляючись підживленням [11]. Вимоги до якості води що надходять в інкубаційні цехи форелі приведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Вимоги до води, щодо надходить до інкубаційних цехів

Найменування показників	Нормативні значення
Температура, °С для інкубації ікри форелі	6–10
Температура, °С для підрощування личинок форелі	12–15
Прозорість, м	Не менше 2,0
Зважені речовини, г/м³	До 5,0
Водневий показник води (pH)	7,0–8,0
Кисень розчинений, моль/м³ (г/м³)	$2{,}8\times10^{-1}$ – $3{,}4\times10^{-1}$ (9–11)
% насичення	100 ± 5
Діоксид вуглецю розчинений, моль/м³ (г/м³)	Не більше $2{,}3\times10^{-1}$ (10,0)

Продовж.табл.1.1

Сірководень розчинений, моль/м³ (г/м³)	Відсутність
Аміак розчинений, моль/м³ (г/м³) для форелі	До $0,6\times10^{-3}$ (0,01)
Окислюваність перманганатна, гO_2/м³	Не більше 10,0
БПК$_5$, гO_2/м³	До 2,0
БПКповн., гO_2/м³	До 3,0
Амоній-іон, мольN/м³ (гN/м³)	До $4,2\times10^{-2}$ (0,75)
Залізо загальне, моль/м³ (г/м³)	До $0,6\times10^{-3}$ (0,1)
Залізо закисне, моль/м³ (г/м³)	Відсутність

Дослідження також вказують на пряму залежність швидкості росту райдужної форелі від тривалості фотоперіоду. Експериментальні данні свідчать про те що використання цілодобового освітлення або подовженого світлового дня довжиною в 18 годин забезпечує значно кращі результати росту порівняно з природним рівнем освітлення (11 годин) та скороченим (6 годин). Риба, яка утримувалася при умовах постійного освітлення показала найвищі показники добового приросту, кращу конверсію корму, включала в своєму складі більше білків (18,2 %) та жирів (7,9 %) порівнюючи з рибою що утримувалася в умовах 6 годинного циклу освітлення, що мала відповідно 16,4 % білку та 7.3 % жирів у складі м'яса [12]. Молодь форелі також є світлочутливою. На ранніх етапах розвитку форель демонструє негативний фототаксис. Пряма сонячна радіація негативно впливає на стан молоді форелі, через що лоткові апарати та ємності для вирощування ембріонів та передличинок необхідно розміщувати в затемнених приміщеннях, або накривати їх захисними кришками в певний період.

Окремої уваги потребують вимоги райдужної форелі до гідродинамічного режиму, оскільки вона є реофільним видом. Необхідна швидкість течії залежить від стадії розвитку риби, її розмірів та типу рибоводного господарства. Оптимальна швидкість потоку є критичною для забезпечення форелі необхідною кількістю кисню, виведення продуктів метаболізму та стимулювання рухової активності. Нормативи швидкості течії варіюють в залежності від вікової групи. Вже на початку личинкового періоду у форелі помітна поява позитивного реотаксису – здатності орієнтуватися та рухатися проти течії води. Для личинок та ранньої молоді масою до 1 граму швидкість потоку в басейнах має підтримуватись в межах 0,5-1 см/с [15]. Для мальків та молоді оптимальною вважається швидкість в межах 2-3 см/с, для риб масою від 1 граму допустимий діапазон становить 1-3 см/с. Для товарної риби рекомендована швидкість течії зростає до 4-10 см/с [15]. Але при цьому існує фізіологічна межа навантаження: швидкість води не повинна перевищувати одну довжину тіла форелі на секунду (1 BL/s - body length per second). Загальним верхнім лімітом прийнято вважати 20 см/с, оскільки перевищення цього показника призводить до надмірних енерговитрат на опір потоку, збільшення потреби в кисні та погіршення показника кормового коефіцієнту [7].

Гідродинаміка також є важливою для самої системи вирощування, через те що відіграє санітарно-гігієнічну роль вимиваючи залишки корму та екскременти. Для такого ефекту необхідна швидкість течії вище за 3 см/с, це дає змогу рибоводним ємностям самоочищуватись. Проте, необхідно дотримуватись балансу: надмірно сильна течія в круглих басейнах може змушувати рибу збиватися в центрі або притискатися до стінок ємностей, тим самим не розподіляючи свою біомасу по всій площі басейну [7].

Узагальнюючи викладене, слід зазначити, що райдужна форель (*Oncorhynchus mykiss*) характеризується високою чутливістю до параметрів

водного середовища. Оптимальні показники температури, освітлення, швидкості течії, концентрацій розчиненого кисню, водневого показника, вмісту азотистих сполук є лімітуючими факторами що впливають на швидкість росту, ефективність засвоєння корму, загальну життєздатність та загальний фізіологічний стан. Відхилення від оптимальних показників можуть призводити до стресових реакцій та порушення внутрішнього обміну, зниження продуктивності. Сукупність описаних екологічних особливостей визначає райдужну форель як біологічно вибагливий вид, потенціал вирощування якого розкривається найкраще за умов точного регулювання умов середовища. Ці біологічні передумови обгрунтовують доцільність використання інтенсивних технологій для вирощування райдужної форелі, що і буде розглянуто в наступному підрозділі.

1.2. Аналіз технологій вирощування райдужної форелі

Технології вирощування райдужної форелі різняться за ступенем їх інтенсивності, ступенем контролю навколишнього середовища та автоматизації. Вибір технології вирощування лежить на господарі виробництва та його цілей, ціллю може бути як вироблення маточного стада чи товарної продукції, рибопосадкового матеріалу. Також для вибору технології важливі наявні водні ресурси та фінансове забезпечення, ринкові умови.

Основною умовою для організації виробництва є наявність якісного та надійного джерела водопостачання. У спеціалізованій літературі зазначається що для водозабезпечення форелевих господарств використовують води підземних річок, джерела, гірські річки та глибоководні озера. Пріоритетними є грунтові та джерельні води, оскільки вони мають сталу температуру протягом року, вільні від паразитів. Потужність (дебіт) джерела водопостачання у таких господарствах прямо визначає можливий вихід продукції.

Вирощування форелі у ставках та садках є менш керованим, основною причиною цього є значна залежність умов вирощування від неконтрольованих умов середовища. Вплив на весь цикл вирощування відбувається через температуру повітря та природний водообмін. Такий метод вирощування є актуальним саме для регіонів які можуть забезпечувати рибу оптимальними умовами вирощування завдяки кліматичним та біохімічним умовам.

Холодноводні ставові господарства, як правило, невеликі за площею, але є високопродуктивними: розрахункова продуктивність в них може сягати від 10 т/га. Специфікою ставів в таких господарствах є висока проточність. Традиційі форелеві стави потребують обміну на рівні 2-5 разів на добу, при інтенсивній технології в бетонних басейнах обмін має відбуватися кожних 15 хвилин.

Окремим технологічним напрямом є вирощування райдужної форелі в сітчастих садках. Завдяки цьому методу можна використовувати акваторії озер, водосховищ, річок та охолоджуючих водойм ТЕС та при цьому не будувати капітальні споруди. Садкові лінії формуються з плаваючих конструкцій прямокутної форми, оптимальною площиною яких є діапазон 10-30 м², а глибина 1,5-3,0 м, що обтягнуті синтетичною деллю або металевим ситом. Борти садків можуть підіймати над водою на 0,5 м для виключення ризику вистрибування форелі з садків.

Найбільш прогресивним методом є інтенсивне вирощування райдужної форелі з використанням установок замкненого водопостачання. РАС зарекомендували себе як стала технологічна альтернатива для культивування цінних видів риб. У цих системах вода постійно циркулює через контур біологічного та механічного фільтру, в яких відбувається її очищення від продуктів життєдіяльності риби, органічних решток, нітрифікація аміаку, дегазація. Завдяки технічним рішенням вдається мінімізувати необхідність внесення свіжої води в систему, понад 95 % об’єму води може залишатися в

системі і повертатися в рибоводні ємності після його поновлення. Сукупність цих заходів забезпечує системний контроль фізико-хімічних показників води: температури, насичення киснем, концентрацій аміаку та його продуктів. Також технологія дає змогу зменшити споживання води та мінімізувати негативний вплив на довкілля, одночасно підтримуючи рівень біобезпеки, контроль захворювань та загальну ефективність аквакультурного виробництва. Механічні фільтри необхідні для очищення води від завислих речовин, біофільтри для нітрифікації, система оксигенації та дегазації. Автоматичний моніторинг параметрів води дає змогу оптимізувати умови вирощування та врахувати зміни у складі води. Окрім цього, проблемою може стати накопичення нітратів та специфічних органічних сполук, що впливають на органолептичні властивості риби [13]. Цими сполуками є геосмін та 2-метилізобарніол що чинять значний вплив на товарну якість продукції аквакультури. Ці речовини надають рибі що вирощена у RAS системах неприємного присмаку затхлості, землистості або вогкості. GSM та MIB синтезуються різними групами мікроорганізмів, передусім актиноміцетами та ціанобактеріями, протеобактеріями, та є вторинними метаболітами їх життєвого циклу. Наразі найпоширенішим методом видалення цих речовин з м’яса товарної риби є витримування її на холодній проточній воді без годівлі [14].

В залежності від технологічного циклу та цільової продукції, сучасні форелеві господарства можна поділити на чотири основні типи: племінні (господарства репродуктори), розплідники, товарні та повного циклу.

Племінні господарства-репродуктори спеціалізуються на утриманні маточного стада з метою отримання статевих продуктів високої якості, для подальшого інкубування. Цей тип виробництва вимагає найвищих рівнів біобезпеки та точного контролю параметрів середовища: температури, гідрохімічного режиму, фотоперіоду тощо. Керування температурами та

світловим днем дає змогу контролювати та зміщувати терміни нересту, отримуючи ікру протягом року, не залежачи від пори року. Використання систем РАС на цих етапах є найбільш релевантним, оскільки дозволяє проводити підготовку плідників до нересту в будь-яких умовах середовища, тим самим забезпечуючи високий відсоток виживаності ембріонів, високу якість швидкоростучого потомства. РАС системи дозволяють проводити успішний нерест форелі навіть на висотах в 3000 метрів над рівнем моря [16].

Господарства-розплідники для вирощування рибопосадкового матеріалу використовуються для інкубації ікри та підрощування молоді до життєстійких стадій (мальків, цьоголітків), що будуть придатними для подальшої реалізації товарним господарствам. На початкових етапах розвитку райдужна форель є найбільш чутливою до якості води та наявності патогенів у ній. Застосування локальних рециркуляційних установок дає змогу мінімізувати залежність від зовнішніх джерел води, підтримувати стабільну температуру та рівномірний ріст, максимізувати рівень виживання на етапах інкубації та підрощування.

Товарні господарства є найбільш поширеним комерційним типом підприємств, їх діяльність зосереджена на вирощуванні риби від посадкової маси (зазвичай 20-50 г) до товарної продукції у вигляді порційної риби чи великих тушок вагою більше 1 кг. Ключовими показниками ефективності є темпи росту, кормовий коефіцієнт та собівартість продукції. Для вирощування товарної продукції можуть використовувати як традиційні проточні системи, так і індустріальні установки.

Господарства повного циклу дають змогу отримувати рибу від ікри до ікри. Такі господарства характеризуються високою технологічністю через необхідність забезпечення різних умов для різних вікових груп риби. Вони включають в себе як інкубаційний так і мальковий цех, цех товарного вирощування. Повносистемні господарства мають незалежність від постачальників ікри чи рибопосадкового матеріалу.

1.3 Висновки за оглядом літератури

Аналіз даних з наукових джерел, присвячених біологічним особливостям та технологіям культивування райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss*) дозволяє сформулювати наступні висновки:

1. Райдужна форель є одним з найбільш перспективних видів риб для сучасної світової аквакультури. Високі темпи росту в поєднанні з відмінними смаковими якостями, здатність до адаптації до високих щільностей посадки та солоності робить цю рибу привабливою для комерційного вирощування. Вид є стенотермним та оксифільним, що накладає обмеження на вибір технології та проєктних рішень. Генетичний потенціал сучасних порід райдужної форелі може реалізуватись тільки за умов суворого дотримання оптимальних параметрів середовища, таких як: температура в межах 13-16°С та насичення киснем не нижче за 90-100 %. Бідь-які відхилення від цих показників призводять до зниження швидкості метаболічних процесів, зниження імунної резистентності та погіршення конверсії корму.

2. Визначальним фактором успішного вирощування райдужної форелі є контроль за якістю середовища. Основним ризиком стає накопичення продуктів метаболізму в воді, через інтенсивну технологію вирощування та відповідно високі щільності посадки форелі. Цими продуктами є аміак та нітрити, що є високотоксичними для лососевих риб навіть при відносно не високих концентраціях. Критичними по аміаку є рівні понад 0,5 мг/л, для нітритів – 0,1-0,2 мг/л. Це стає обґрунтуванням для необхідності застосування ефективних систем біофільтрації та регулярного моніторингу гідрохімічних показників як невід’ємної складової технологічного процесу.

3. Сучасні дослідження доводять необхідність контролювання не тільки основних параметрів життєзабезпечення, а і таких параметрів як освітлення та гідродинамічний режим. Забезпечення оптимальної швидкості течії на рівні 1-1,5 довжини тіла форелі на секунду не лише виконує санітарну функцію, вимиваючи органічні рештки, а й стимулює рухову активність риби,

покращуючи тонус та якість м’язової тканини. Важливим важелем керування також є фотоперіод: використання штучного подовження світового дня дозволяє стимулювати соматичний ріст молоді, а маніпуляції з режимами освітлення на маточних стадах дають змогу отримувати статеві продукти поза природним сезоном нересту, забезпечуючи господарства посадковим матеріалом цілий рік.

4. Встановлено чітко помітну тенденцію переходу світової аквакультури до інтенсивних методів вирощування з використанням індустріальних технологій. Традиційні садкові та проточні системи вирощування є привабливими через низькі капітальні витрати, але демонструють високу залежність від кліматичних змін, сезонність та якість природних вод. Крім того, екстенсивні та напів-інтенсивні системи вирощування створюють значне екологічне навантаження на природні водойми, що протирічить тенденції світу в бік переходу до безпечніших для природних ресурсів технологій.

5. Найбільш перспективним напрямом розвитку галузі визначено впровадження установок замкненого водопостачання (РАС). Ця технологія дозволяє нівелювати вплив зовнішніх факторів середовища на цикли вирощування, забезпечити повний контроль умов вирощування, мінімізувати витрати води та гарантувати високий рівень біобезпеки. В той самий час експлуатація РАС пов’язана з декількома викликами, серед котрих – високі витрати енергії та проблема накопичення метаболітів примітивних мікроорганізмів (геосмін та 2-метилізобарніол), що надають рибі специфічного присмаку. Для вирішення цієї проблеми необхідно впроваджувати протоколи передпродажної перетримки риби.

6. Огляд літератури показав, що вибір технології вирощування має базуватися на спеціалізації майбутнього господарства. Для репродукторів та розплідників, де основним завданням є отримання якісного рибопосадкового матеріалу з високою виживаністю найкращим рішенням буде використання

систем з точним контролем умов утримання, тобто РАС систем. Для товарних господарств вибір технології покладається на економічну доцільність та наявність доступних водних ресурсів.

Таким чином, підвищення ефективності вирощування райдужної форелі можливе за умов впровадження новітніх технологій, які базуються на глибокому розумінні біологічних потреб вирощуваного об’єкту. Необхідність оптимізації технологічних параметрів в виробничих умовах та пошук шляхів вирішення проблем пов’язаних з інтенсивною аквакультурою обумовлює актуальність проведення власних досліджень, методика та результати яких будуть представлені в наступних розділах дипломної роботи.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дипломна робота на тему «Проєкт форелевого господарства на базі технології RAS потужністю 150 тон» виконана з метою обґрунтування доцільності впровадження сучасних інтенсивних ресурсозберігаючих технологій в аквакультуру України.

Метою роботи є розробка біотехнічних та технологічних параметрів вирощування райдужної форелі в установках замкненого водопостачання (РАС), економічне обґрунтування та моделювання діяльності описаного підприємства.

Об’єктом дослідження є технологічний процес вирощування райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss*) в індустріальних умовах.

Предметом дослідження є біологічні особливості росту форелі в умовах що регулюються, параметри роботи біологічної та механічної фільтрації, нормативи годівлі риби та економічна ефективність господарства.

Для підготовки проєкту були застосовані загальноприйняті методи: аналіз нормативної бази, специфічні методи рибоводного проєктування, метод порівняння технологій, метод зворотніх розрахунків, використання програмного забезпечення, статистичний метод. В основу розрахунків покладено методи зворотнього рибоводного розрахунку, що дозволяє визначити потребу в рибопосадковому матеріалі та виробничих потужностях, відштовхуючись від планового обсягу товарної продукції. В даному проєкті обсяг продукції має становити 150 тон райдужної форелі на рік.

2.1 Розрахунок потреби у посадковому матеріалі

Для визначення потреби господарства у рибопосадковому матеріалі використовується метод зворотного рибоводного розрахунку [18]. Суть методу полягає в послідовному визначенні чисельності риби на кожному

попередньому етапі вирощування, рухаючись від запланованого з самого початку обсягу товарної продукції господарства, враховуючи нормативи виживання представлені у методичках по відтворенню райдужної форелі.

Розрахунок виконується за наступним алгоритмом:

1. Визначення кількості товарної риби

На цьому етапі проводиться розрахунок кількості риби, що необхідно буде утримувати та реалізовувати для досягнення планової потужності проєктованого господарства (2.1):

$$N_{final} = \frac{(M_{plan} * 1000)}{W_{final}} \quad (2.1)$$

Де N_{final} - кількість товарної риби, екз.;

M_{plan} - планова річна потужність господарства, тонн;

W_{final} - середня маса однієї рибини при реалізації, кг;

1000 - коефіцієнт переведення тонн у кілограми.

2. Розрахунок потреби у рибопосадковому матеріалі

Необхідна кількість риби на початку кожного з виробничих етапів визначається з урахуванням прогнозованого відходу особин форелі за формулою (2.2):

$$N_{start} = \frac{(N_{end} * 100)}{SR} \quad (2.2)$$

Де N_{start} - чисельність риби на початку етапу (наприклад, малька), екз.;

N_{end} - чисельність риби в кінці етапу (або на початку наступного), екз.;

SR (Survival Rate) - нормативний коефіцієнт виживання на даному етапі, %.

З метою забезпечення оптимальних рівнів навантаження на систему механічної та біологічної фільтрації, для стабільного отримання продукції протягом року та для зменшення затрат на будівництво річна потреба в рибпосадковому матеріалі поділяється на декілька партій вирощування за формулою (2.3):

$$N_{\text{рибопосадк}} = \frac{N_{\text{загальна}}}{n} \quad (2.3)$$

Де $N_{\text{риби}}$ – кількість рибопосадковго матеріалу на одну партію;

$N_{\text{загальна}}$ – загальна річна потреба в рибі;

n – кількість циклів зариблення на рік (кратність посадки);

2.2. Методика моделювання росту риби (TGC–модель)

Для прогнозування темпів росту райдужної форелі та складання виробничого графіку проєктованого господарства в роботі використано підходи до математичного моделювання, що були описані в фундаментальних працях з індустріальної аквакультури, за основу дослідниками було взято формули Cho [17], що були проаналізовані та вдосконалені Dumas в 2007 [16], а також данні про біологічні особливості росту лососевих [6, 7]. Розрахунки базуються на моделі термічного коефіцієнта росту Thermal Growth Coefficient – TGC. Ця модель дає змогу врахувати вплив температури води на метаболізм риб, що є критично важливим для холодноводних методів рибництва [3].

Базове рівняння прогнозування маси риби має вигляд (2.4):

$$W_n = \left(W_0^{1-b} + \frac{c_{n-1}}{1000} \sum_{i=1}^{n} T_i \right)^{\frac{1}{1-b}} \quad (2.4)$$

Де W_n – кінцева маса риби, г;

W_0^{1-b} - початкова маса риби, г;

c_{n-1} – термічний коефіцієнт росту (TGC);

$1-b$ – експонента маси, що залежить від стадії розвитку риби (скорегована авторами статті [16]);

Для планування виробничих процесів необхідно визначити тривалість одного циклу вирощування (t). Визначивши термін перебування однієї партії риби в басейнах господарства до її набуття товарної маси, можна буде дізнатись необхідні терміни та обсяги закупівлі рибопосадкового матеріалу. Оскільки в умовах РАС температура є стабільною, сума температур

визначається як добуток часу на температуру, а не сума температур як в приведеній формулі 2.1. Перемноживши кількість діб на стабільний показник температури ми отримаємо класичний показник градусодіб (2.5).

$$\sum \mathrm{T} = \mathrm{t} * \mathrm{T} \tag{2.5}$$

Де T – температура води, C°;

t – час, діб;

Проведемо математичне перетворення рівняння 2.4 для вираження з неї формули часу (t). Піднесемо обидві частини рівняння до степеня (1-b) щоб розкрити дужки:

$$W_n^{1-b} = W_0^{1-b} + \frac{c_{n-1}}{1000} \sum T \tag{2.6}$$

Отримали рівняння 2.6, перенесемо W_0^{1-b} в ліву частину та виразимо суму температур $\sum T$:

$$\sum T = \frac{\left(\left(W_n^{1-b} - W_0^{1-b}\right) * 1000\right)}{c_{n-1}}$$

Підставивши t * T замість $\sum T$ отримаємо формулу адаптовану під внесення даних про кількість діб вирощування форелі при сталих температурах води в системі РАС:

$$T * t = \frac{\left(\left(W_n^{1-b} - W_0^{1-b}\right) * 1000\right)}{c_{n-1}}$$

Тепер, перенесемо T у правий бік рівняння, та отримаємо фінальну формулу для розрахунку кількості діб (2.7). Ця формула дозволяє точно розрахувати дату досягнення рибою товарної маси, оперуючи науковими коефіцієнтами, що наведені у статті [16]:

$$\mathrm{t} = \frac{\left(\left(\mathrm{W_n^{1-b}} - \mathrm{W_0^{1-b}}\right) * 1000\right)}{(\mathrm{c_{n-1}} * \mathrm{T})} \tag{2.7}$$

Де t – кількість діб вирощування до товарної маси, діб;

W_n^{1-b}– кінцева маса риби в степені 1-b, г;

W_0^{1-b} - початкова маса риби в степені 1-b, г;

c_{n-1} – термічний коефіцієнт росту (в таблиці підписано TGC);

$1-b$ – експонента маси, що залежить від стадії розвитку риби (скорегована авторами статті [16]);

Значення термічного коефіцієнта росту (TGC) та експоненти маси (1-b) є змінними величинами, що залежать від стадій онтогенезу форелі. Для розрахунку рівняння (2,7) у проєкті використано емпіричні коефіцієнти для трьох вагових категорій райдужної форелі, що відповідають різним етапам розвитку риби. Вони наведені у таблиці 2,1 [17].

Таблиця 2,1

Значення термічного коефіцієнта росту та експоненти маси для райдужної форелі

Вагова категорія, г	Кількість партій (N1)	Термічний коефіцієнт росту (TGC)	Експонента маси (1−b)	Коефіцієнт детермінації (R2)
0,2–20	5	0,8 ± 0,2	0,209 ± 0,043	0,9980–0,9993
20–500	10	2,3 ± 0,1	0,333	0,9960–0,9999
>500	9	411,0 ± 131,1	0,967 ± 0,049	0,9950–0,9996

2.3 Методика розрахунку необхідного об’єму рибоводних басейнів

Визначення геометричних параметрів та кількості басейнів базується на природних вимогах райдужної форелі до простору та на допустимих щільностях посадки. Розрахунок виконується з врахуванням пікових навантажень на систему, оскільки вона повинна забезпечувати життєдіяльність та активний ріст риби в момент її максимальної біомаси перед процесом

сортування чи реалізації. Також враховується накладання процесів вирощування один на одний, для забезпечення інтенсифікації термінів виробництва.

1. Розрахунок максимальної біомаси (B_{max}):

$$B_{max} = N_{end} * W_{end} \quad (2.8)$$

Де B_{max} – максимальна біомаса риби в системі, кг;

N_{end} – кількість риби в кінці етапу вирощування, екз;

W_{end} – середня маса однієї риби, кг;

2. Розрахунок попереднього необхідного об'єму басейнів

Необхідний об'єм води визначається нормативною щільністю посадки форелі, та буде коригуватись в залежності від розрахованої далі кількості кисню, що буде споживатись рибою [20, 18, 3]. Об'єм розраховується враховуючи максимальну біомасу за один цикл та щільність посадки риби в залежності від єтапу її розвитку за формулою (2.9):

$$V_{\text{бас}} = \frac{B_{max}}{\text{ЩПфорелі}} \quad (2.9)$$

Де $V_{\text{бас}}$ – робочий об'єм басейнів, м³;

B_{max} – максимальна біомаса, кг;

ЩПфорелі – щільність посадки райдужної форелі, кг/м³;

3. Геометричний розрахунок басейну

Вибір конструкції басейнів обумовлений необхідністю максимального використання корисної площі виробничого приміщення. У проєкті прийнято використання бетонних басейнів прямокутної форми. Такі басейни дають змогу ефективніше використовувати площу приміщення, та є більш дешевим рішенням для будівництва по зрівнянню з ППР округлої форми. Розміри одного басейну розраховуються виходячи з його об'єму (V_1), відношення довжини до ширини та глибини води в басейні (2.10).

$$V_1 = L * W * h \quad (2.10)$$

Де L – довжина басейну, м;

W – ширина басейну, м;

h – робоча глибина басейну, м;

2.4 Методика розрахунку годівлі та ефективності кормовикористання

В умовах індустріального вирощування в РАС режим внесення кормів має вирішальне значення не тільки для інтенсивного росту риби, але й для стабільних показників якості води та гідрохімічного режиму. Оптимізація частоти годівлі позитивно впливає на ефективність засвоєння корму та темпи росту риби.

Згідно з дослідженнями щодо динаміки азотовмісних сполук в РАС, пікові показники коцентрації TAN та нітритів в воді фіксуються в проміжку від 4 до 6 годин після годівлі риби. Застосування низької частоти годівлі на добу створює пульсуючі критичні навантаження на мікробіом біофільтра, що призводить до коливання якості води протягом дня. Науковцями доведено, що збільшення частоти внесення корму дає змогу згладити коливання концентрацій аміаку та нітритів у системі, стабілізуючи тим самим параметри якості води.

Враховуючи наведене вище, з метою забезпечення максимальної ефективності роботи нітрифікуючих бактерій та уникнення пікових навантажень на систему водоочистки в цілому, в даному проєкті прийнято алгоритм цілодобового щогодинного годування за допомогою автоматичних годівниць [16, 17].

1. Розрахунок норми годівлі

Норма годівлі розраховується в залежності від виду риби, кількості риби та її віку, стадії розвитку. Зазвичай норми годівлі надаються виробниками кормів у відсотках. Для визначення кількості корму що буде вноситись у систему необхідно помножити загальну вагу риби на відсоток годівлі,

запропонований виробником обраного корму. Розраховуємо за формулою 2.11 [17].

$$R_{\text{добова}} = \frac{(B \cdot SFR)}{100} \quad (2.11)$$

Де $R_{\text{добова}}$ – добова кількість корму, кг;

B – поточна біомаса риби;

SFR – добова норма годівлі у % від маси риби, в залежності від температури та наважки риби, %.

2. Розрахунок погодинної норми внесення корму

Для реалізації технології рівномірного внесення корму для забезпечення рівномірного навантаження на систему загальну добову норму годівлі поділимо на 24 порції, що погодинно будуть вноситись у басейни автоматично:

$$R_{\text{годинна}} = \frac{R_{\text{добова}}}{24} \quad (2.12)$$

Де $R_{\text{годинна}}$ – кількість корму що вноситься у воду автоматичною годівницею за одну годину, кг/год;

$R_{\text{добова}}$ - добова кількість корму, кг;

2.5 Методика розрахунку масового балансу загального амонійного азоту (TAN) в системі

Надійність роботи біологічного фільтра в РАС залежить від точності розрахунку добової продукції загального амонійного азоту. В даному проєкті для розрахунку використано показники надані в виробничих специфікаціях сучасних екструдованих кормів [21].

Виробники кормів надають точні дані щодо розподілу азоту на дві фракції: розчинену у воді та нерозчинену. Розчинена екскретується через зябра, а нерозчинена є азотом в екскрементах риби. Зважаючи на те, що барабанний фільтр не може забезпечити 100 % видалення твердих часточок, дрібнодисперсна фракція екскрементів може потрапляти в біофільтр. Проходячи процес окиснення бактеріями, виділяється додатковий аміак. Тому

з метою забезпечення інженерного запасу потужності системи водоочищення біофільтром, розрахунок загального навантаження проводиться шляхом додавання обох показників емісії аміаку [22]. Розрахунок проводимо за формулою (2.13)

$$TAN = \frac{R_{\text{добова}} * (E\text{розч} + E\text{нерозч})}{1000} \quad (2.13)$$

Де TAN – загальний амонійний азот, кг/добу;

$R_{\text{добова}}$ – добова кількість корму, кг/добу;

Eрозч – емісія розчиненого у воді азоту згідно з документацією корму, г на 1 кг корму;

Eнерозч – емісія азоту в екскрементах згідно з документацією корму, г на 1 кг корму;

1000 – коефіцієнт переводу грамів в кілограми;

2.6 Методика розрахунку гідравлічного балансу системи (водообмін та підживлення)

Для забезпечення стабільної роботи системи необхідно розрахувати два ключові гідравлічні показники: витрату оборотної води, що впливає на продуктивність насосів, та об’єм свіжої води що буде подаватись в систему протягом циклу вирощування [18, 17].

1. Розрахунок витрат води на підживлення

Свіжа вода має подаватись в систему для розбавлення нітратів ($NO3^-$) які є кінцевим та найменш токсичним продуктом нітрифікації. Але, варто зазначити, що їх накопичення у системі неминуче, і через це необхідно постійно вносити кількість води що може розбавляти концентрацію нітратів до допустимої. Розраховуємо об’єм підживлення спираючись на допустимі рівні концентрацій нітратів за формулою (2.14):

$$Q_{\text{підживлення}} = \frac{\left(P_{TAN} \cdot 1000 \cdot \left(1 - K_{denitrif}\right)\right)}{C_{NO3}} \quad (2.14)$$

Де $Q_{\text{підживлення}}$ – добова потреба у свіжій воді, м³/добу;

P_{TAN} – добова продукція амонійного азоту в системі, кг/добу;

$K_{denitrif}$ – коефіцієнт пасивної денитрифікації в системі, частка від одиниці;

C_{NO3} – допустима концентрація нітратів у воді, мг/л;

1000 – коефіцієнт перетворення кілограмів в грами;

2. Розрахунок витрат оборотної води для підтримки рівня амонійного азоту на необхідному рівні

Швидкість водообміну в рибоводних ємностях є критичним параметром що забезпечує самоочищення ємностей від твердих відходів та підтримання концентрацій розчинених метаболітів у воді на необхідному рівні. Визначення лімітуючого фактора водообміну з врахуванням накопичення загального аміаку, вуглекислого газу та споживанням кисню є складним багтофакторним процесом, що потребує розв'язання системи взаємопов'язаних гідравлічних та масобалансових рівнянь. З огляду на це, розрахунок швидкості водообміну в проєктованому господарстві був проведений методом автоматизованого комп'ютерного модеювання.

Обчислення були здійснені з застосуванням електронної розрахункової матриці на базі табличного процесора MS Excel, яка базується на інженерних алгоритмах масового балансу, представлених як електронний додаток до стандартів проєктування PAC [17]. Методика застосування розрахункової таблиці полягала в внесенні масиву даних про проєктовану систему, таких як: пікова біомаса риби на фінальних етапах вирощування, максимальні добові дози корму, вимоги до якості води, ефективність вузлів водоочищення, що надаються в праці Timmons [18]. Використання алгоритмів моделі дозволило вказати лімітуючий фактор та автоматично визначити мінімальну необхідну витрату оборотної води для підтримання стабільного гідрохімічного режиму. Фінальні результати гідравлічних моделювань інтегровані в технологічні розрахунки виробничої частини поточного проєкту.

2.7 Методика розрахунку параметрів біологічного фільтра

Біологічний фільтр є одним з вузлів водоочищення, що забезпечує мікробіологічну трансформацію токсичного амонійного азоту на відносно безпечні сполуки нітратів. Проєктування біофільтру базується на визначенні необхідної площі поверхні для формування біологічно активної плівки з нітрифікуючих бактерій [23, 24]. У даному проєкті передбачено використання двохступеневого фільтра з використанням фіксованого та рухомого завантаження. Перший ступінь приймає на себе 50% навантаження, та другий з фіксованим завантаженням приймає другу половину.

1. Розрахунок площі поверхні біоплівки (S)

Для визначення необхідної площі твердого субстрату для поселення колоній нітрифікуючих бактерій використовується емпіричний показник питомої площі. Для систем з рухомим завантаженням цей показник приймається на рівні 5 м² на 1 г TAN на добу, а для фіксованого – 2,5 м²/г. Формула розрахунку (2.15):

$$S = TAN \cdot 1000 \cdot S_{\text{пс}} \qquad (2.15)$$

Де S – розрахункова площа поверхні біоплівки, м²;

1000 – коефіцієнт переведення маси TAN з кілограмів у грами;

$S_{\text{пс}}$ – площа поверхні, що необхідна для розкладання 1 граму TAN впродовж доби (5 м²/г для рухомого та 2,5 м²/г для фіксованого);

2. Розрахунок об’єму заповнювача

Фізичний об’єм пластикових елементів розраховується спираючись на їхню питому поверхню (ПП). Для точного очищення води від токсикантів та нівелювання ризиків при пікових навантаженнях, до розрахункового об’єму додається резерв технології у розмірі 30%. Формула розрахунку (2.16):

$$V_z = \frac{(S \cdot 1{,}3)}{\text{ПП}} \qquad (2.16)$$

Де V_z – необхідний об’єм рухомого наповнювача, м³;

S – загальна площа поверхні біоплівки, м²;

ПП – паспортна питома площа поверхні субстрату в 1 м³ заповнювача, м²/м³;

3. Розрахунок загального об’єму біофільтра

Для забезпечення оптимальної гідродинаміки та постійної барботації рухомого шару завантаження в реакторі, необхідно облаштувати резервуар вдвічі більший за об’ємом ніж сам заповнювач. Формула є однаковою для розрахунку біофільтру як з рухомою, так і з фіксованою системою роботи, різниця лише в заповненні водою по відношенню до завантаження [41, 18]. Іншими словами, наповнювач має займати до 50% об’єму біофільтру для рухомого заванатження, та 80% для фіксованого (2.17):

$$V_{\text{БФфікс}} = 1{,}2 \cdot V_z \tag{2.17}$$

Де $V_{\text{БФфікс}}$ – загальний гідравлічний об’єм чаші біологічного фільтра, м³;

V_z – необхідний об’єм фіксованого заповнювача, м³;

$$V_{\text{БФрух}} = 2 \cdot V_z \tag{2.18}$$

Де $V_{\text{БФрух}}$ – загальний гідравлічний об’єм чаші біологічного фільтра, м³;

V_z – необхідний об’єм рухомого заповнювача, м³;

2.8 Методика розрахунку механічного очищення води

Розрахунок навантаження на систему механічної фільтрації виконано на основі балансу мас за методикою М. Тіммонса та Дж. Ебелінга [18]. При розрахунках враховано значення генерації завислих речовин в перерахунку на суху речовину згодованого корму, яка складає 25% TSS від сухої речовини корму [17].

1. Розрахунок кількості завислих речовин (TSS)

Розрахунок проводиться за формулою 2.19:

$$P_{TSS} = R_{\text{добова}} \cdot K_{TSS} \tag{2.19}$$

Де P_{TSS} – добова продукція завислих речовин, кг/добу;

$R_{\text{добова}}$ – максимальна добова норма внесення корму, кг;

K_{TSS} – коефіцієнт генерації твердих відходів;

2. Витрата води для видалення TSS

Визначення мінімальної необхідної витрати оборотної води через барабанний фільтр для підтримання безпечних концентрацій завислих речовин проводиться методом комп'ютерного моделювання. Для обчислень було застосовано електронну розрахункову матрицю на базі MS Exel, що має в собі функцію врахування ефективності затримки мікроситом зважених часточок та швидкість їх накопичення. Результати проведеного гідравлічного моделювання інтегровані в загальний розрахунок продуктивності насосних груп.

2.9 Методика розрахунку кисневого балансу системи

Розчинений кисень виступає основним лімітуючим фактором в технології РАС. Загальна потреба в кисні формується на основі двох біохімічних процесів: дихання гідробіонтів та дихання автотрофних бактерій в системах біофільтрації. Кисень використовується на обмін речовин риб, підтримання їх гомеостазу, розвитку, та для окиснення аміаку до нітратів бактеріями.

Зважаючи на складну та нелінійну залежність розчинності газів від температури води, а також необхідність меж витрат кисню через обмеження технології оксигенаторів та ерліфтів, розрахунок кисневого балансу також виконувався за допомогою комплексної електронної моделі.

Вхідними даними для електронної моделі слугували: пікова норма годівлі, продукція амонійного азоту та мінімальна допустима концентрація кисню для обраного виду вирощування. Таким чином, шляхом обчислень було визначено загальну потребу системи в кисні, та розраховано необхідну витрату оборотної води для його безпечного транспортування до рибоводних ємностей [17].

2.10 Методика вибору обладнання

Методика вибору повітродувки

Головним та критично важливим вузлом в проєктованій установці є вузол подачі повітря, тобто повітродувка, що забезпечує рух води шляхом подачі

стисненого повітря в колодязі-ерліфти. Отже, першим буде проведено вибір відповідної до потреб в кисні та в швидкості руху води моделі повітродувки. Для цього потрібно дізнатись кількість повітря що зможе забезпечити рух води зі швидкістю близько 12 см/с в басейнах. Розрахуємо необхідну витрату води, об'єм води що буде перекачуватись ерліфтами щогодини для підтримки швидкості 12 см/с та виносу метаболітів з басейну [41].

1. Гідродинамічний розрахунок витрати води

Для підтримки оптимального фізіологічного стану лососевих та забезпечення ефективного винесення метаболітів з рибоводної ємності, розраховується годинний об'єм води, що має викачуватись ерліфтами щогодини. За методикою проєктування, витрата води прямо залежить від площі перерізу потоку та цільових показників швидкості:

$$Q_{\text{води}} = A_{\text{секції}} * V_{\text{потоку}} * 3600$$

Де: $A_{\text{секції}}$ – площа поперечного перерізу басейна, м²;

$V_{\text{потоку}}$ – швидкість потоку води, м/с;

3600 – коефіцієнт для переведення секунд в години;

2. Визначення об'ємної витрати повітря

Основуючись на гідравлічних розрахунках визначається необхідний об'єм стисненого повітря. За деякими дослідженнями діючих систем, при використанні ерліфтних колодязів з глибиною занурення на рівні більше 4 метрів досягається висока гідравлічна ефективність.

Відношення об'єму повітря до об'ємів води в системах складає від 1:4 до 1:13,3 об'ємів повітря для руху об'єму води. Тоді, розрахунок витрат повітря здійснюється за формулою:

$$Q\text{повітря} = \frac{Q\text{води}}{4}$$

3. Розрахунок загального робочого тиску пневматичної системи

Вибір повітродувки базується на концепції загального динамічного напору. Загальний робочий тиск складається з необхідності подолання тиску водяного стовпа на глибині занурення розпилювачів та з динамічних витрат на тертя у трубопроводах.

З урахуванням інженерного запасу на загальні динамічні витрати системи загальний необхідний тиск визначається за формулою:

$$Pповітря = h + g$$

Де Рповітря – робочий тиск повітродувки, мбар;

h – глибина занурення дефузора в ерліфті, мВс;

g – втрата тиску на фітингах та в трубопроводі, мвс;

4. Підбір моделі повітродувки за робочою точкою

Вибір пневматичного обладнання здійснюється за використання каталогів виробників на основі отриманого показника робочої точки, що визначається за двома координатами: продуктивність (Qповітря, м³/год) та тиск (Рзагальний, мбар). Обрана модель має забезпечити робочі параметри в зоні максимальної ефективності на графіку, враховуючи запас в 10-15% есплуатаційного резерву потужності.

РОЗДІЛ 3
РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОЛІДЖЕНЬ

3.1 Обґрунтування вибору місця розташування господарства

Проєктування будь-якого індустріального аквакультурного господарсвтва розпочинається з базового етапу дослідження параметрів джерела водопостачання. Через те що вода є єдиним середовищем існування гідробіонтів, її фізико-хімічні показники та їх контроль визначають життєздатність та рентабельність створюваного проєктного рішення.

Як еталонний приклад поверхневого джерела, що задовільняє біологічні та гідробіологічні вимоги для вирощування лососевих риб, доцільно

розглянути річку Лімниця. Географічно річка характеризується доволі високою водністю, що забезпечується рясними та частими атмосферними опадами. Водозабір річки знаходиться в гірських районах, і опади на рівні 1000 мм на рік в основному сприяють її повноводності. Дно річки є кам'янистим, а підземні води четвертинного водоносного горизонту взаємодіють з її мережою. Єдиним зауваженням відносно річки Лімниця є проблема з зафіксованими науковцями екологами-геохіміками - контамінація поверхневих вод дренажними розсолами – водами з перевищеним вмістом солей з солевідвалів калійних солей Калуш-Голинського родовища [33]. Ареали забруднення наближаються до русла річки Лімниця, що важливо враховувати, та через це розміщувати господарство на верхів'ях річкового басейну, вище за місця де вплив промислових родовищ є помітним.

Фактичні данні екологічного моніторингу у верхів'ях Лімниці відповідають нормам стандарту СОУ 05.01-37-385:2006 "Вода для рибогосподарських господарств", на які необхідно спиратись при аналізуванні вод на моменті вибору місця возведення господарства. Отже, ключові показники води р. Лімниця становлять:

- Розчинений кисень – 9,2 мг/дм³;
- Загальне залізо – 0,05 мг/мг³;
- БСК5 – 1,8 мг/дм³;
- Амонійний азот – 0,12 мг/дм³ [34];

Референсні показники з державного стандарту приведені нижче:

Таблиця 3.1

Нормовані значення показників якості води джерела водопостачання при вирощуванні форелі [32]

Показники якості води	Нормовані значення
Температура, °С	не більше 20
Кольоровість (град)	не більше 30

Прозорість, м	1,5
Завислі речовини, мг/л	не більше 25,0
Водневий показник (pH) води	7,0-8,0
Розчинений кисень, мг/л O_2	7,0-8,0
Двоокис вуглецю, мг/л CO_2	не більше 10,0
Сірководень, мг/л H_2S	відсутній
Вільний аміак, NH_3, мгN/л	0,05
Амонійний азот, NH_4^+, мгN/л	0,5
Нітрити NO_2^I, мгN/л	0,1
Нітрати NO_3^I, мгN/л	1,0
Фосфати PO_4^{-3}, мгP/л	0,3
Залізо загальне Fe^{+2+3}, мгFe/л	0,5
Окислюваність перманганатна, мгO/л	10,0
Окислюваність біхроматна, мгO/л	30,0
$БСК_5$, мг/лO_2	2,0
$БСК_{10,}$ м/лO_2	3,0
Кальцій, Ca^{2+}, мг/л, мг-екв./л	40 (не більше 2,0)
Магній, Mg^{2+}, мг/л, мг-екв./л	15,0 (не більше 1,23)
Загальна твердість, мг-екв./л	4,0
Гідрокарбонати, HCO3', мг/л, мг-екв./л	150 (не більше 2,46)
Хлориди, Cl', мг/л, мг-екв./л	50 (не більше 1,41)
Сульфати, SO_4^{-2}, мг/л, мг-екв./л	40 (не більше 0,83)

Продовж. табл. 3.1

Натрій + Калій, Na^++K^+, мг/л, мг-екв./л	20,0 (не більше 0,8)
Мінералізація, мг/л	300,0
Загальна кількість мікроорганізмів, млн.кл./мл	1,0
Чисельність сапрофітів, тис.кл./мл	3,0

Далі, для проєктування індустріального інженерного господарства необхідно чітко визначити базову гідрологічну потребу підприємства. Саме розрахунковий обсяг свіжої води для підживлення системи є головним

лімітуючим фактором, що диктуватиме технічну можливість та економічну доцільність будівництва на обраній території [18].

Для визначення точної витрати свіжої води на стадії проєктування застосовано метод розрахунку за технологічними нормативами провідних європейських виробників аквакультурного обладнання та кормів. За базу було прийнято специфікацію компанії BioMar для напівзамкнутих систем, оснащених вузлом біологічного очищення [28]. Згідно з регламентом, нормативна потреба у свіжій воді для такого типу системи становить 15 л/с на кожні 100 тонн вирощеної риби на рік.

Розрахунок проєктної витрати води (Qсвіжої) для планової потужності виконується за пропорційною формулою (3.1):

$$Q\text{свіжої} = \frac{Q\text{норм} * P\text{план}}{P\text{норм}} \quad (3.1)$$

Де Qсвіжої – проєктна потреба у свіжій воді, л/с;

Рплан – планова потужність проєктованого підприємства (150 тонн/рік)

Рнорм – базова потужність за специфікацією (100 тонн/рік).

Підставивши проєктні значення, отримаємо (3.2):

$$Q\text{свіжої} = \frac{15*150}{100} = 22{,}5\,\frac{л}{с} \quad (3.2)$$

Для подальших гідравлічних розрахунків та пошуку джерела водопостачання з відповідним дебітом переведемо отримане значення у стандартизовані одиниці (кубічні метри на годину, м³) за формулою (3.3):

$$Q\text{свіжої в годину} = \frac{22{,}5 * 3600}{1000} = 81\,\frac{м^3}{год} \quad (3.3)$$

Отриманий нами показник означає, що майбутня ділянка повинна мати доступ до водного об’єкта, що здатний віддавати безперебійно 81 м³/год. Міжнародна класифікація Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO) [29] визначає тип системи за показником витрати свіжої води на 1 кг вирощеної продукції.

При нормативній витраті, закладеній у специфікації BioMar на рівні 15 л/с на 100 тонн, річне водоспоживання комплексу на 150 тонн становитиме 709 560 м³. Відповідно, на 1 кг вирощеної продукції форелі витрачатиметься 4,73 м³/кг води. Згідно з базовими теоретичними індикаторами FAO, класичні проточні системи споживають близько 30 м³/кг, тоді як для напівзамкнених РАС (RAS low level) еталонним орієнтиром є показник 3 м³/кг.

Отриманий для нашого проєкту показник в 4,73 м³/кг продукції знаходиться в межах одного математичного порядку з еталонним індиктором напівзамкнутої системи і є в понад шість разів меншим за витрати класичних проточних господарств. Відповідно, технологічно та екологічно проєктоване нами підприємство класифікується як напівзамкнута РАС, що базується на “Датській моделі” (Danish model Farm). Такий рівень водообміну дозволяє підтримувати оптимальний гідрохімічний режим, невелюючи ризики накопичення нітратів без перенавантаження біологічних фільтрів.

Виходячи з вищеописаного, масштаб водоспоживання проєктованого комплексу складає 1944 м³/добу, і цей показник вказує на необхідність юридичного оформлення використання води. Згідно зі ст. 48 Водного кодексу України, використання понад 5 м³ на добу класифікується як спеціальне водокористування. Ключовою умовою для легалізації розміщеного господарства є технічна можливість організувати законне постачання та відведення води [30].

Наступним вагомим критерієм виступають гідрогеологічні умови та якість води для підживлення системи. На відміну від підземних вод Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну (що охоплює територію центральної України, зокрема Київщину), де для бучацького та альб-сеноманського водоносних горизонтів є характерним понаднормативний вміст марганцю та двовалентного заліза (до 3,74 мг/дм³) [24], підземні води західного регіону мають значно сприятливіший гідрохімічний профіль [25].

Відсутність настільки високих концентрацій заліза є критичною умовою для збереження здоров’я зябрового апарату форелі, а також запобігає кольматації залізобактеріями поверхні завантаження біофільтра. Завдяки цьому вдається оптимізувати капітальні витрати, уникнувши необхідність встановлення дороговартісних станцій знезалізення води.

Оптимальним інженерним рішенням для забезпечення якості та зниження вартості водопідготовки є використання інфільтраційного подруслового водозабору (берегової фільтрації). З гідравлічної точки зору це процес що індукується шляхом зниження рівня підземних вод нижче рівня поверхневих вод (річки), за допомогою відкачування води зі свердловин. Завдяки цьому вода з річки проходить природну фільтрацію через масиви ґрунту, зокрема через активний кольматаційний шар у руслі, де відбуваються інтенсивні процеси деградації та адсорбції забруднювачів під час проходження води через шари різнодисперсного ґрунту [31]. Такий метод забезпечує високоефективне усунення біорозкладних сполук, завислих речовин, бактерій, вірусів, паразитів та їх статевих клітин. Окрім очищення від патогенів, берегова фільтрація також забезпечує урівноваження коливань температури протягом всього року, підігріваючи її від грунту взимку, та охолоджуючи влітку. Тобто, завдяки будівництву господарства в місці де можливе встановлення колодязів по береговій лінії, РАС отримає стабільно чисту воду безпечної температури та складу, уникаючи використання забруднених алювіальних вод першого водяного горизонту.

Згідно з гідрогеологічними дослідженнями, ефективність роботи інфільтраційних водозаборів залежить від літологічного складу водоносного горизонту. Міжнародні рекомендації акцентують на для облаштування систем берегової фільтрації найкраще підходять високопроникні грунти, що дають змогу отримати велику кількість відфільтрованої води за малий час. Зокрема, згідно з класифікаціями Національної служби охорони природних ресурсів

США, приорітетними є грунти груп А, В та частково С [35]. Саме грубозернисті піски та гравії забезпечують максимальну інфільтрацію завдяки значним показникам загальної пористості та через наявність макропор, що суттєво покращує гідродинамічне поповнення водозаборів.

Геологічна будова обраної локації відповідає технологічним вимогам, долина річки Лімниця сформована відкладами четвертинного періоду, і домінують саме алювіальні. До голоценових алювіальних відкладів відносяться такі масиви: перших надзаплавних терас, сучасних русел та заплав. Для геологічної будови головним складником є галечникові утворення, що перекриваються супісками та пісками з вклапленнями гравію та гальки. Низька ж заплава, як і русло складаються з валунів та галечників що мають потужність в діапазоні від 0,5 до 15 метрів [36].

Від місця розташування господарства залежить рентабельність створеної РАС, важливим також є врахування надійності доступної інфраструктури в місці дислокації. Беручи до уваги планову потужність проєктованого підприємства в 150 тонн товарної риби на рік та наявні ризики, оптимальним регіоном на 2026 рік для розміщення господарства визначено західну частину України, зокрема райони Закарпаття та Прикарпаття.

Таке територіальне рішення базується на низці фундаментальних факторів, першим з яких є енергетична безпека. Індустріальне вирощування риби в РАС системах є процесом з безперервним циклом, критично залежним від стабільного електропостачання. До систем що критично залежать від електропостачання відносяться: робота насосних груп, барабанних фільтрів, генераторів кисню, систем барботажу біозавантаження, систем знезараження води тощо. В умовах сучасних викликів безпеки через воєнну агресію Росії та її партнерів, західний регіон відзначається вищим рівнем збереженості та захищеності, стабільності об’єктів енергетичної інфраструктури. Це дозволяє мінімізувати кількість аварійних зупинок систем життєзабезпечення

гідробіонтів та зменшити операційні витрати на постійну роботу резервних систем живлення РАС. Часто в ролі резервного джерела енергії для великих систем РАС виступають дизельні електростанції.

Окрім технологічних аспектів, важливу роль також відіграє логістика та наявність ринків збуту. Проєктоване підприємство орієнтоване на використання високіякісних екструдованих кормів, що здебльшого виробляються в країнах ЄС та специфічного обладнання, отже близкість до митниць та кордонів з Європейським союзом суттєво скорочує витрати на логістику як часу так і фінансів. Водночас, райдужна форель є продуктом преміум-класу, а вітчизняне виробництво в Україні майже повністю саме з форелі [26]. Ринок збуту в західних регіонах, зокрема у Львові та Карпатському рекреаційному макрорегіоні, наразі демонструє найвищу динаміку росту.

Розміщення виробничих потужностей в екологічно чистому верхів'ї басейну річки Лімниця в Івано-Франківській області дає змогу покращити економічну модель підприємства, що стратегічно орієнтоване на ринки збуту у Західній Україні, зокрема Львівській області. Логістичне плече до споживачів складає до 150 км. Таке просторове розміщення дозволяє створюваному підприємству реалізувати приємну для споживача концепцію постачання продукції – вилов вранці – доставка денна. Це дасть змогу ресторанам та іншим споживачам отримати безперервний доступ до свіжої, незамороженої риби з меншими витратами часу та фінансів на доставку.

Завдяки відносній безпеці, міграційним процесам та пожвавленню внутрішнього туризму, сфера HoReCa тут активно розвивається: тільки протягом 2022-2023 років у західних областях відкрилося близько двох тисяч нових закладів харчування [27]. Також, варто зазначити, що у Львові фіксується стабільний попит на ресторани вищого цінового сегмента, та стрімко зростає тренд на використання якісних локальних продуктів [27]. Отже, враховуючи високу вартість імпортних лососевих риб та залежність цін

від коливань валютного курсу, постачання свіжої продукції форелі безпосередньо до місцевих закладів харчування є дуже конкурентоспроможною перевагою. Це забезпечує можливість швидкої щоденної реалізації преміально продукції кінцевому споживачу з мінімальними витратами на логістику.

На основі проведених комплексних аналізів літології, гідрології та екології, для прив'язки генерального плану підприємства обрано вільну від забудови земельну ділянку на правому березі річки Лімниця. Географічні координати проєктованого об'єкта: 48°51'21.8"N 24°13'00.1"E (Калуський район, територіальний масив між СМТ Перегінське та с. Рівня).

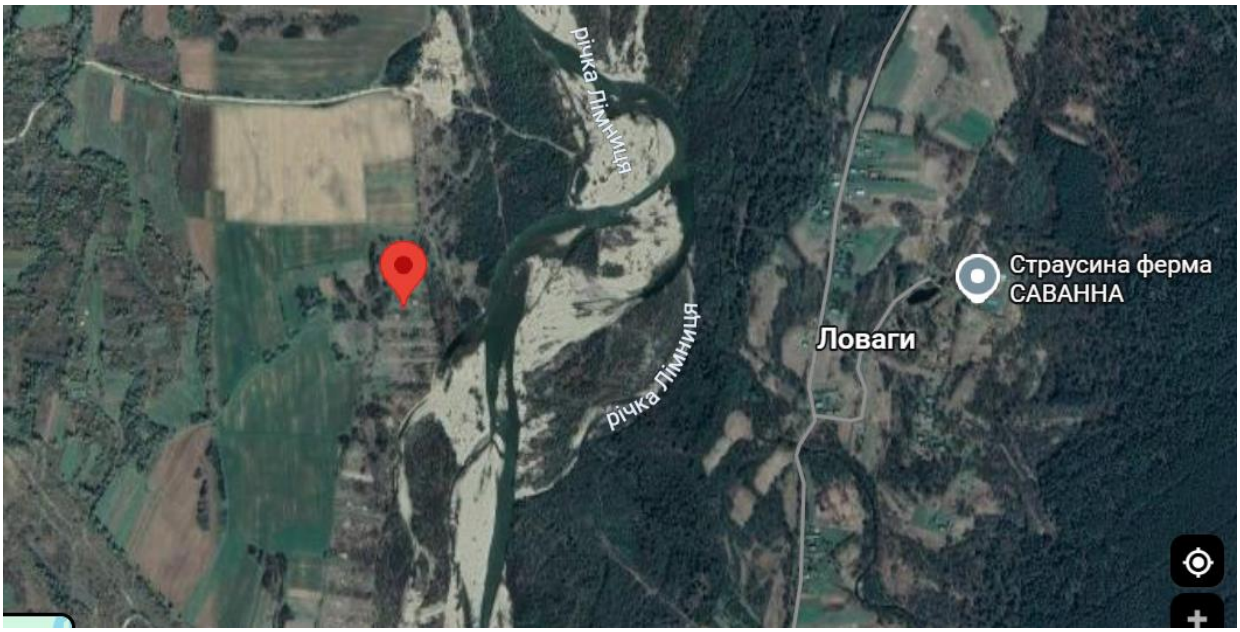


Рис. 3.1. Обрана ділянка для проєктованого господарства

Обрана локація найбільш повно задовільняє ключові критерії для індустріального проєкту РАС. Насамперед, ділянка забезпечує високий рівень екологічної та санітарної безпеки, оскільки розташовується значно вище за течією від Калуш-Голинського родовища солей. Також, на обраній території відсутні цвинтарі, скотомогильники та щільна житлова забудова. Це забезпечує надійне становище водних ресурсів, інфільтраційної води з водоносних горизонтів.

Наступним критично важливим фактором для вибору цього місця стала топографія, можливість організації гравітаційного водообміну. Рельєф обраної ділянки має виражену терасову структуру, пологий схил до основного русла річки Лімниця. Рельєф дає змогу розташувати каскад біологічних відстійників-лагун нижче від виробництва. Завдяки перепадам висот можливо досягти самопливне водовідведення 1944 м³/добу відпрацьованої води без використання насосного обладнання, що позитивно впливає на експлуатаційні витрати господарства. Також, перепади висоти між обраною точкою для будівництва та руслом річки коливаються в межах від 3 до 5 метрів, що дає змогу обрати найоптимальніші точки розташування скидних колодязів, резервуаврів системи біофільтрації, заглиблень для пасток вловлювачів відходів тощо.

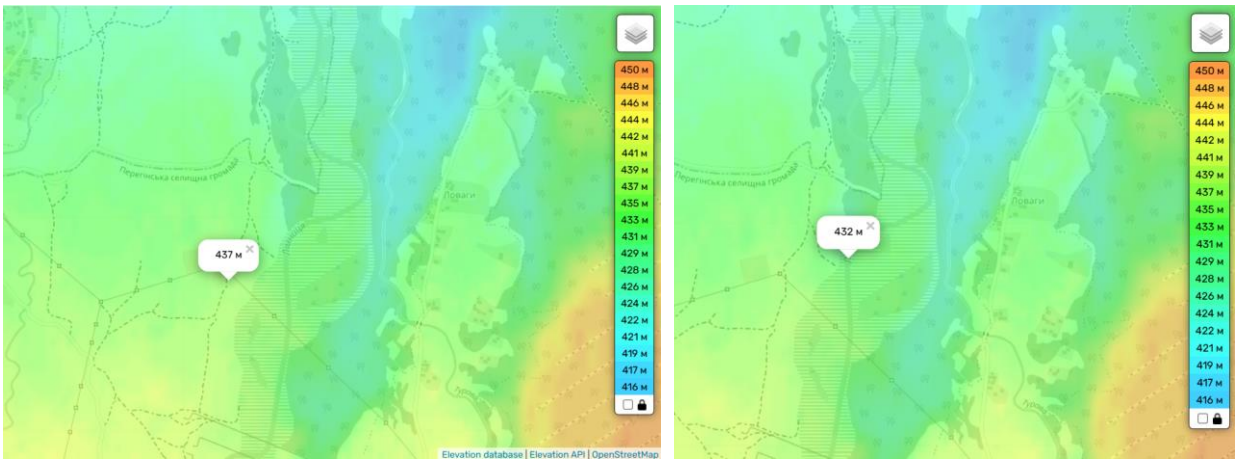


Рис. 3.2. Висота над рівнем моря в обраній ділянці (зліва) та в руслі річки Лімниця (справа)

Зрештою, локація відрізняється високою інфраструктурною та логістичною доступністю. Ділянка має зручні під'їзні шляхи з прямим виходом на транспортні артерії регіонального рівня та швидкісну трасу Н10.

3.2. Технологічна схема виробництва продукції райдужної форелі на проєктованому підприємстві, розрахунки для технологічної схеми

Технологічна схема вирощування для проєктованого підприємства розроблена засновуючись на європейських та вітчизняних моделях напівзамкнених РАС, зокрема на інноваційних рішеннях провідної данської кампанії FREA A/S. В основі обраної технології лежить використання прямокутних бетонних басейнів канального типу, виробничі етапи у якому побудовані на поетапних переміщеннях відсортованої риби в окремі секції каналу, по мірі збільшення її лінійних показників та маси.

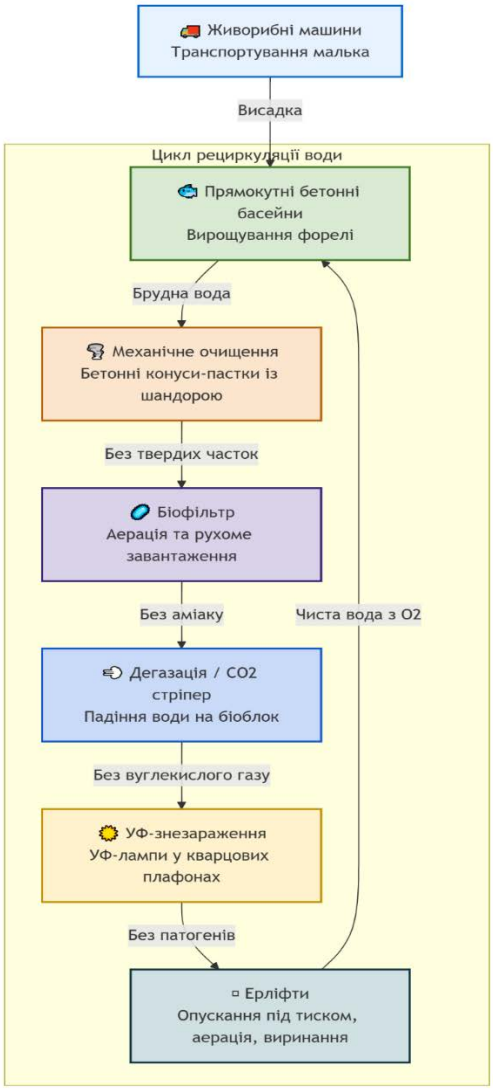


Рис. 3.3. Схема проєктованої системи РАС

Також варто зазначити, що у напівзамкнутих системах температурний режим води може зазнавати коливань в залежності від пори року. Амплітуда коливань залежить від обсягів подання свіжої води для підживлення системи, від кліматичних умов локації та від наявності чи відсутності приміщення над проєктованим господарством, його термоізоляції.

Відповідно до концепції проєкту, господарство функціонуватиме за моделлю неповносистемного підприємства, тобто не включатиме в свою структуру інкубаційного та малькового цехів.

Технологічний цикл вирощування розпочинається з регулярної закупівлі високоякісного, попередньо відвакцинованого посадкового матеріалу райдужної форелі вагою 20-30 грам у європейських сертифікованих репродукторах. Обов'язковою вимогою до партій що закуповуються є наявність ветеринарного свідоцтва та сертифіката походження. Це документально підтвердить приналежність райдужної форелі до чистих генетичних ліній, що зі свого боку гарантуватиме високі темпи росту та епізоотичну безпечність стада, високу якість майбутньої товарної продукції.

Також, сертифікація та вакцинування гарантують відсутність хвороб в закуплені партії риби, що дає змогу не використовувати карантинне перетримання. Таке рішення дає змогу зменшити кількість переміщень риби, що позитивно вплине як на економічну частину, так і на здоров'я риби. Виробничий цикл поділено на 3 партії, із завезенням нового рибопосадкового матеріалу кожні 4 місяці.

Логістика та введення нового стада в експлуатацію повинно контролюватись протоколом. По перше, доставка рибопосадкового матеріалу на підприємство здійснюється спеціалізованим автотранспортом, обладнаним ізотермічними живорибними ємностями. Температура води для перевезення має складати близько 10-12°С. При перевезенні живорибні ємності мають

комплектуватись станціями для безперервної подачі кисню, елементами для моніторингу якості води.

Після прибуття на локацію процес приймання та вивантаження риби у виробничі басейни вимагає суворого дотримання температурних нормативів. Для запобігання температурного шоку, що може призвести до підвищеної смертності риби та спричинить стрес, забороняється миттєва пересадка риби. Відповідно до цього, перед розвантаженням живорибного транспорту, проводиться обов'язкове вирівнювання температури у ємностях для перевезення та у ємностях для вирощування на господарстві, шляхом підмішування води з системи РАС в живорибні контейнери.

Перша годівля після перевезення риби на господарство не є повноцінною. Рибі необхідно надати декілька годин для просторової адаптації, адаптації до показників води, для подолання стресу. Перша видача продукційного екструдованого корму здійснюється в менших обсягах, приблизно на 20-30% від нормативної добової норми. Таким чином забезпечується розвантаження травної системи риби та запобігання стрибкам концентрацій аміаку, які в свою чергу могли б призвести до погіршення якості води та вчинили б зайве навантаження на біофільтр. На наступний день годівля може відбуватись в повному обсязі.

Щоденний зоотехнічний та гідрохімічний моніторинг є критичним елементом успішного та повноцінного функціонування РАС. Особливу увагу персонал має приділяти візуальному нагляду за фізіологічним станом риби, постійно оцінювати загальну поведінку форелі, рівень її рухливості та харчова активність. Паралельно має здійснюватись контроль термічного режиму, за класичним регламентом вимірювання має проводитись мінімум тричі на добу. Вимірювання краще проводити о 5:00, 13:00 та 19:00. Проте, враховуючи високий рівень автоматизації проєкту, передбачається також впровадження систем безперервного моніторингу показників води з використанням новітніх

оптичних датчиків та спеціалізованих комп'ютерних програм. Це гарантуватиме цілодобовий контроль основних показників якості води з виведенням параметрів на пульт оператора.

Щоденні санітарно-гігієнічні заходи включатимуть в себе обов'язкове обслуговування гідротехнічних споруд та приладдя. Таким чином, наприкінці кожного басейну здійснюється щоденне відкриття доннних конусних пасток осадонакопичувачів для скидання акумульованих ними твердих фракцій.

Для управління темпами росту форелі проводиться плановий моніторинг маси з чіткою періодичністю – один раз на декаду. Для забезпечення репрезентативності біологічних показників, з кожного басейну рандомізовано відбирають три контрольні проби риби обсягом від 100 до 150 особин у кожній. На основі вимірювань цих проб розраховується актуальна середня маса риби, спираючись на яку відбуватиметься коригування добових норм годівлі на наступних 10 діб.

По досягненню мальком маси в приблизно 50 грам необхідно здійснювати комплексне розмірне сортування стада, розділяючи форель на три розмірні групи. Сортування проводиться за допомогою спеціалізованого сортувального обладнання чи ручним методом, в залежності від ступеня оснащеності господарства. Для мінімізації стресу цю процедуру доцільно виконувати за штучно пониженої температури в межах 8-10°C. Під час сортування також проводиться і повна зоотехнічна інвентаризація: фіксується загальна та середня біомаса риби, вираховується абсолютний приріст за час вирощування, проводиться розрахунок витраченого корму та смертності.

3.3 Організація годівлі об'єкту культивування

Головним завданням при інтенсивному вирощуванні форелі в РАС є правильний вибір корму. При виборі корму постає питання щодо співвідношення між протеїном та ліпідами в його складі. Використання ліпідів як основного джерела енергії дозволяє організму риби спрямовувати протеїн

на пластичні потреби, тобто на синтез м’язової тканини, мінімізуючи його катаболізм для енергетичних цілей. Низький показник конверсії корму досягається виробниками якраз за рахунок високого показника енергетичної цінності, збільшенням кількості ліпідів у кормі. Проте, фізіологічні можливості засвоєння ліпідів рибою мають чіткі межі. Перевищення оптимальних показників вмісту жирів, понад 18-21% - провокує накопичення надлишкового вісцерального жиру та розлади у метаболізмі, жирову дистрофію печінки. За експериментальними даними, форель наважкою від 300 грам має найвищі показники продуктивності та найнижчий показник FCR за умови використання раціонів з помірним вмістом ліпідів та високим рівнем протеїну – 12% та 45% відповідно. При підвищенні жирності до 21% годування призводить до різкого погіршення показників конверсії корму, що є недоцільним з економічної точки зору.

Важливо враховувати і вплив нутрієнтів з корму на газообмінні процеси риби. За результатами досліджень визначено що підвищення кількості жирів на зміну вуглеводам знижує загальні потреби риби в кисні. Питома потреба у кисні знижувалася з 5,26 до 4,67 мг O_2/(кг*хв) при переході риби на високожирові раціони з високовуглеводних. Це пояснюється тим, що синтез ліпідів з спожитого крохмалю є більш кисневозатратним процесом, у порівнянні з окисненням жирів напряму.

Окрім газообміну, оптимізація складу раціону також впливає на якість води, на систему біологічної фільтрації. Протеїн, що не був засвоєним для соматичного росту, піддається дезамінуванню, і в воду виділяється токсичний аміак (TAN). Аналогічна ситуація спостерігається і при амінокислотному дизбалансі. Дослідження показують, що збалансований комбікорм високої якості, що має у складі 45% протеїну та 18% жиру, забезпечує генерацію TAN на мінімальному рівні – 0,030 мг/дм³. А корм що має значно нижчу вартість, і в складі якого всього 30% протеїну та 12% жиру, через гіршу перетравність

провокував зростання виділених концентрацій аміаку до 0,048 мг/дм³, що має повноцінний вплив на систему біофільтрації.

Сучасні спеціалізовані корми характеризуються низькими кормовими коефіцієнтами. На етапі інтенсивного росту риби від маси 30 до 235 грам, використання гарно збалансованого корму дозволяє досягти FCR на рівні 0,96. Для товарної риби корм з оптимальним ліпідним балансом забезпечує FCR до 1,16, надлишкова жирність погіршує показник конверсії корму, та підвищує його до 1,46.

Практичною проблемою під час вибору оптимального раціону для РАС є не лише підбір правильного нутрієнтного складу, але й фактична наявність спеціалізованих кормів на ринках України. Сучасні тенденції індустріальної аквакультури орієнтовані на максимізацію енергетичної цінності за рахунок ліпідів, більшість проаналізованих екструдованих кормів містять більше 21% жиру, що як було обґрунтовано раніше, чинить гепатотоксичний вплив.

З урахуванням логістичної доступності продукції на ринку та жорсткими критеріями вибору щодо співвідношення ліпідів до білків, для використання на проєктованому господарстві було обрано спеціалізовану лінійку від нідерландського виробника Alltech Coppens. У якості єдиного універсального раціону для повного циклу годівлі риби від маси в 30 грам до 400 грам обрано екструдований корм Alltech Coppens NUTRI DIGEST.

Рецептура корму включає в себе близьке до ідеального співвідношення – 46% протеїну та 18% жиру. Згідно з офіційною специфікацією виробника, корм має високу перетравність і надає можливість отримати FCR у межах від 0,8 до 1,1. За технологічним регламентом годівлі, для рибопосадкового матеріалу передбачено використання гранул фракції 3,0 мм від 30 до 70 грам наважкою, а для форелі вагою від 70 до 400 грам доцільно використати фракцію 4,5 мм. Таке рішення дозволяє уніфікувати закупівлю, уникнути кормового стресу при

можливій заміні раціону, гарантує оптимізоване низьке навантаження на систему біофільтрації.

В індустріальних системах РАС стратегія годівлі відрізняється від традиційних методів вирощування і базується на рівномірності подачі корму протягом доби. Проєктом передбачене цілодобове внесення корму малими порціями з інтервалом в 1-2 години. Добовий раціон у відсотках від маси тіла розраховується за референсними таблицями виробника корму, виходячи з актуальної біомаси стада та температури води. Для реалізації такого режиму годівлі обрано пневматичну систему видачі корму від німецького виробника Linn Gerätebau GmbH. На відміну від локальних шнекових годівниць, пневматична система дозволяє розмістити годівниці як на відкритому повітрі, так і в приміщені, в залежності від вимог замовника. Можливо централізувати систему подачі корму за допомогою повітропроводів, що забезпечувало б вищий ступінь автоматизації. Важливо відзначити, що хоча в деяких технологічних рішеннях допускається застосування годівниць маятникового типу – “Рефлекс”, для проєктованого господарства їх використання визнане недоцільним. Головним недоліком годівлі за допомогою маятникових годівниць є стимуляція виникнення харчової конкуренції: більші та агресивніші особини монополізують площу навколо маятника, витісняючи меншу та слабшу рибу, що призводить до розшарування вагово-розмірного складу стада. Натомість програмована пневматична система Linn гарантує рівномірний розподіл корму по площі дзеркала води, забезпечуючи всім гідробіонтам доступ до корму. Обрано модель PR50ST, що оснащений потужною турбінною повітродувкою на 1000 Вт. Завдяки спрямованому потоку повітря корм рівномірно розсіюється над водним дзеркалом на відстань до 8 метрів. Такий метод годівлі усуває проблему локальної харчової конкуренції, та пропонує вибір бункерів місткістю від 50 до 200 кг. Рекомендовано використовувати моделі об’ємом від 100 кг, мінімізуючи

навантаження на персонал. Управління здійснюється через програмований мікроконтролер, що дає змогу налаштувати видачу корму з точністю до секунди.



Рис. 3.4. Обрана модель автоматичної годівниці з таймером PR50ST виробництва компанії Linn

Оскільки корми є найбльшою статтею експлуатаційних витрат, а неспожиті залишки створюють навантаження на систему біофільтрації, еталонним є споживання рибою всього виданого корму. Окрім точного дозування, важливе значення також мають фізико-механічні властивості самого корму. Екструдовані раціони для РАС мають мати високу структурну цілісність та водостійкість. Утворення пилу, розчиненого у воді призводить до зростання показника БСК, що може спричинити навантаження з біофільтрацією через виникнення бактеріальних угрупувань.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

Розрахунки проводяться з врахуванням максимального навантаження на систему, тобто за найбільших мас риби в РАС з метою наявності буфера витривалості.

4.1 Розрахунок потреби в рибопосадковому матеріалі

1. Визначення кількості товарної риби

$$N_{final} = \frac{(M_{plan} * 1000)}{W_{final}} = \frac{(150 * 1000)}{0{,}4} = 375\,000 \text{ екз.}$$

Порахуємо для 1 з 3 партій на рік:

$$N_{final} = \frac{(M_{plan} * 1000)}{W_{final}} = \frac{(50 * 1000)}{0{,}4} = 125\,000 \text{ екз.}$$

2. Розрахунок потреби у рибопосадковому матеріалі

$$N_{start} = \frac{(N_{end} * 100)}{SR} = \frac{(375\,000 * 100)}{85} = 441\,176 \text{ екз.}$$

Порахуємо для 1 з 3 партій на рік:

$$N_{start} = \frac{(N_{end} * 100)}{SR} = \frac{(125\,000 * 100)}{85} = 147\,059 \text{ екз}$$

4.2. Розрахунок темпів росту риби (TGC–модель)

Розрахуємо точну кількість діб до досягнення рибою товарної маси, враховуючи що показник експоненти маси для розрахованого діапазону мас складає 0,333, а показник С (TGC) дорівнює 2,3, а стабільна температура протягом року складатиме 15 °С:

$$t = \frac{\left((W_n^{1-b} - W_0^{1-b}) * 1000\right)}{(c_{n-1} * T)} = \frac{\left((400^{0{,}333} - 30^{0{,}333}) * 1000\right)}{(2{,}3 * 15)} = 123 \text{ доби}$$

Отже, для вирощування форелі від ваги в 30 грам до товарного показника маси в 400 грам, за среедньої температури в 15°С знадобиться 123 доби.

4.3 Розрахунок необхідного об’єму рибоводних басейнів

1. Розрахунок максимальної біомаси (B_{max}):

Враховуючи тривалість вирощування в 123 доби, та інтервал між зарибленнями в 122 доби, максимальне навантаження на систему буде досягатись в моменти фінального набору маси рибою в кожній з партій. Коли перша партія вже досягла 400 грам і готова до вилову, ми зариблюємо іншу партію, тобто протягом доби на господарстві знаходяться дві партії риби одночасно. Розрахуємо пікову біомасу додавши фінішну партію, та стартову партію.

$$B_{\text{фінішна партія}} = N_{end} * W_{end} = 125\,000 \text{ екз.} * 0{,}4 \text{ кг} = 50\,000 \text{ кг}$$

$$B_{\text{стартова партія}} = N_{end} * W_{end} = 147\,100 \text{ екз.} * 0{,}03 \text{ кг} = 4\,413 \text{ кг}$$

$$B_{max} = 50\,000 + 4\,413 = 54\,413 \text{ кг.}$$

2. Розрахунок попереднього необхідного об’єму басейнів

Розрахунок проводиться з врахуванням цільності посадки в 71 кг/м³ для райдужної форелі вагою близько 350 грам [40]

$$V_{\text{бас}} = \frac{B_{max}}{\text{ЩПфорелі}} = \frac{54\,413 \text{ кг.}}{71 \text{ кг/м}^3} = 766 \text{ м}^3$$

3. Геометричний розрахунок басейну

Спираючись на проміри басейнів використовуваних в Датських установках замкненого циклу, прийнято використання бетонних вирощувальних ємностей довжиною в 25 метрів, шириною в 2,5 метри та робочою глибиною близько 1,2 метрів.

$$V_1 = L * W * h = 25 * 2{,}5 * 1{,}2 = 75 \text{ м}^3$$

Отже, об’єм одного басейну складе 75 м³, поділивши загальний необхідний об’єм на об’єм одного басейну дізнаємося потребу в басейнах.

$$N\text{бас} = \frac{766}{75} = 10{,}2 = 11 \text{ басейнів}$$

4.4 Розрахунок годівлі та ефективності кормовикористання

1. Розрахунок норми годівлі

Норму годівлі розрахуємо для риби вагою до 400 грам. Адже після перевезення рибопосадкового матеріалу, годівля його почнеться тільки через добу. За специфікацією наданою виробником обраного корму Alltech Coppens NUTRI DIGEST, норма годівлі (SFR) складе 1 % на добу за температури в 14 °C.

$$R_{\text{добова}} = \frac{(B \cdot SFR)}{100} = \frac{50000 \text{ кг.} * 1}{100} = 500 \text{ кг/добу}$$

2. Розрахунок погодинної норми внесення корму

$$R_{\text{годинна}} = \frac{R_{\text{добова}}}{24} = \frac{500 \text{ кг}}{24} = 20{,}83 \text{ кг/г}$$

4.5 Розрахунок масового балансу загального амонійного азоту (TAN) в системі

Добова кількість корму складає 500 кг/добу, а емісія азоту, згідно з графіком виробника, при близькому до найгіршого кормовому коефіцієнті 1 буде складати 48 грам, враховуючи це розрахуємо:

$$TAN = \frac{R_{\text{добова}} * (E\text{розч} + E\text{нерозч})}{1000} = \frac{500 * 48}{1000} = 24 \text{ кг/добу}$$

4.6 Розрахунок гідравлічного балансу системи (водообмін та підживлення)

1. Розрахунок витрат води на підживлення

Допустимий рівень концентрації нітратів для райдужної форелі візьмемо в 70 мг/л.

$$Q_{\text{підживлення}} = \frac{\left(P_{TAN} \cdot 1000 \cdot \left(1 - K_{denitrif}\right)\right)}{C_{NO3}} = \frac{24 * 1000 * (1 - 0)}{70}$$

$$= 342{,}8 \text{ м}^3\text{/добу}$$

2. Розрахунок витрат оборотної води для підтримки рівня амонійного азоту на необхідному рівні

Бажаний рівень TAN у воді приймаємо на рівні 1 мг/л, пасивну нитрифікацію 10 %, використовуючи обрахункові матриці MS Excel визначимо потребу у воді:

1662 м³/добу.

4,7 Розрахунок параметрів біологічного фільтра

Розрахунок розподілу маси аміачного азоту

Для 1 ступеня (50%):

$$TAN_{\text{рух}} = 24 \text{ кг} * 0{,}5 = 12 \text{ кг}$$

Маса аміаку для 2 ступеня з фіксованим завантаженням (50%):

$$TAN_{\text{рух}} = 24 \text{ кг} * 0{,}5 = 12 \text{ кг}$$

Розрахунок 1 ступеня (рухомого навантаження)

Активне завантаження до фіксованого нехай відноситься у пропорції 1:2.

Розрахуємо необхідну площу поверхні завантаження:

$$S = TAN \cdot 1000 \cdot S_{\text{пс}} = 12 * 1000 * 5 \frac{\text{м}^2}{\text{грам}} = 60000 \text{ м}^2$$

Розрахуємо фізичний об’єм пластикового заповнювача з резервом в 30%, якщо площа поверхні обраного Bioflo+ дорівнює 800 м²/м³:

$$V_{z\ \text{рух}} = \frac{60000 * 1{,}3}{800} = 97{,}5 \text{ м}^3$$

Загальний гідравлічний об’єм резервуара 1 ступеня:

$$V_{\text{БФ рух}} = 97{,}5 * 2 = 195 \text{ м}^3$$

Розрахунок 2 ступеня (фіксоване завантаження)

Необхідна площа поверхні біоплівки:

$$S\text{фікс} = TAN \cdot 1000 \cdot S_{\text{пс}} = 12 * 1000 * 2{,}5 \frac{\text{м}^2}{\text{грам}} = 30000 \text{ м}^2$$

Розрахуємо фізичний об’єм блочного заповнювача з резервом в 30%, якщо обране біозавантаження BioBlock 150 HD має площу поверхні 150 м²/м³:

$$V_{z\ \text{фікс}} = \frac{30000 * 1{,}3}{150} = 260\ \text{м}^3$$

Загальний гідравлічний об’єм резервуара 2 ступеня враховуючи 20% простору для води:

$$V_{\text{БФ фікс}} = 260 * 1{,}2 = 312\ \text{м}^3$$

Отже, загальний гідравлічний об’єм системи біофільтрації складе 507 м³. Включаючи 195 м³ для рухомого, та 312 м³ для фіксованого ступеня.

4.8 Розрахунок системи механічної фільтрації

1. Розрахунок кількості TSS що утворяться протягом однієї доби

$$P_{TSS} = R_{\text{добова}} \cdot K_{TSS} = 500 * 0{,}25 = 125\ \text{кг}$$

Отже, на день з корму виділиться до 125 кг завислих речовин.

2. Витрата води для видалення зважених речовин

Бажано, щоб рівень зважених часточок не перевищував 10 мг/л. Після проведених за допомогою MS Exel розрахунків прийшли до висновку, що для видалення утворюваних TSS знадобиться 1036 м³/год.

4.9 Розрахунок кисневого балансу системи

Для моделювання необхідного об’єму підживлення киснем використано показники пікового споживання кисню під час годівлі [18]. Дізналися, що потреба в кисні буде складати 250 кг O_2/добу при врахуванні потреб в кисні за годівлі.

Враховуючи споживання кисню автотрофними бактеріями, вийшли на показник загальної потреби системи в кисні: 22,94 кг/год, а для забезпечення такої кількості кисню необхідно 17642 м³/год води.

4.10 Розрахунки та вибір обладнання

Вибір повітродувки

1. Гідравлічний розрахунок басейну

Визначимо площу перерізу одного басейну:

$$A = 2{,}5 * 1{,}2 = 3{,}0 \text{ м}^2$$

Витрата води (Qводи) що має прокачуватися системою через один басейн за годину:

$$3{,}0 \text{ м}^2 * 0{,}12 \frac{\text{м}}{\text{с}} * 3600 \frac{\text{с}}{\text{год}} = 1296 \text{ м}^3/\text{год}$$

2. Визначення об’ємної витрати повітря

$$Q\text{повітря} = \frac{Q\text{води}}{4} = 1296 * 0{,}25 = 324 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

3. Визначення тиску, з яким має працювати повітродувка

$$P\text{повітря} = h + g = 2{,}5 + 0{,}4 = 2{,}9 \text{ мвс.}$$

Переведемо показник з метрів водяного стовба (мвс) в мілібари, що частіше використовуються в специфікаціях європейського обладнання, враховуючи що 1 мвс = 98.06 мбар:

$$P\text{повітря} * 98{,}06 = 2{,}9 * 98{,}06 = 284{,}374 \text{ мбар}$$

Отже, для закупівлі потрібно обрати повітродувку з таким технічним завданням: 324 м³/год при тиску 284,374 мбар.

Аналіз ринку показав, що задана робоча точка найкраще задовольняється одноступеневою вихровою повітродувкою моделі Elektror 1SD 810. Розрахункові параметри знаходяться в зоні найвищого ККД для цієї моделі, що може гарантувати відсутність перенавантажень та перегрівань обладнання під час безперервної експлуатації. Окрім того, обрана модель може забезпечити максимальну продуктивність на рівні понад 600 м³/год, що створює необхідний резерв для компенсації підвищеного опору в разі засмічення дифузорів.

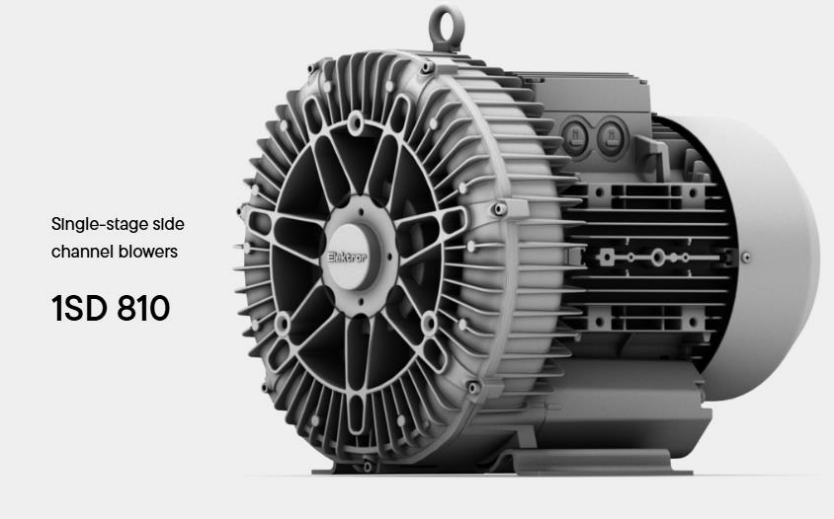


Рис. 4.1. Повітродувка Elektror 1SD 810 [44]

Для подолання розрахункового опору повітродувка комплектується електродвигуном потужністю 5,5 кВт з класом енергоефективності IE3, що позитивно впливатиме на затрати на електроенергію. Для забезпечення довговічності агрегату передбачено встановлення обов'язкової захисної арматури: вхідного фільтра очищення та запобіжного клапана скидання тиску.

Обґрунтування вибору завантаження для 1 ступеня біофільтрації

Для першого ступеня біологічного очищення обрано рухоме біозавантаження виробництва Warden Biomedia - Bioflo+ 800. Ключовою перевагою даної моделі є надвисока захищена площа поверхні, що становить 800 м²/м³. Застосування субстрату з такою щільністю дозволило зменшити необхідний об'єм резервуарів 1 ступеня до 195 м³, та оптимізувати витрати на будівництво очисних споруд.



Рис. 4.2 Біозавантаження Bioflo+ 800 [42]

Форма з ребрами жорсткості ефективно захищає сформовану на завантаженні біоплівку від стирання під час барботації. Коефіцієнт вільного простору на рівні 63% забезпечує безперешкодне протікання води скрізь носій, гарантуючи поставлення до бактерій кисень та запобігаючи утворенню мертвих анаеробних зон. Елементи завантаження виконані з первинного поліетилену високої щільності з питомою вагою 0,96 г/см³, що забезпечує нейтральну плавучість після обростання колоніями нітрифікуючих бактерій.

Обґрунтування вибору завантаження для 2 ступеня біофільтрації

Для другого ступеня біологічного очищення обрано нерухоме блочне завантаження моделі BIO-BLOK® 150. Ця модель підходить для фінального видалення залишкового амонію та ефективної дегазації води. Головною інженерною перевагою субстрату є надвисокий показник порожнього простору – 88%, та висока площа вільного протікання – 64%. Такі показники досягаються завдяки трубчастій конструкції із зовнішнім діаметром 55 мм. Характеристики та форма завантаження унеможливлюють ризик замулювання фільтра навіть при інтенсивному наростанні бактеріальної маси.



Рис. 4.3. BIO-BLOK® 150 [43]

Водночас, структура поверхні пластику сприяє адгезії мікроорганізмів, забезпечуючи показник робочої площі на рівні від 150 до 387 м²/м³, що є оптимальним для очищення води. Матеріал поставляється у вигляді стандартних модулів розміром 55 * 55 * 55 см що значно спрощує монтаж: блоки щільно встановлюються один на одного без потреби в складних опорних каркасах.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1. Розрахунок капітальних вкладень у будівництво та обладнання

Економічне обґрунтування створення господарства з вирощування райдужної форелі на базі РАС базується на розрахунку початкових інвестиційних витрат, що необхідні для формування матеріально-технічної бази.

Капітальні витрати включають в себе закупівлю будівельних матеріалів, технологічного обладнання, оплату послуг будівельних та монтажних бригад. Розрахунок матеріальної складової наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1.

Кошторис матеріалів та обладнання для будівництва РАС потужністю 150 тон на рік

Назва	од.	ціна, $	к-сть для 150 тонн	сума, $	сума, грн.
Бетон М-100 ÷ М-300	м³	71,7	603	43281	1887040
Арматура (А500С, А400С)	т	1111,9	44	48373	2109067
Пісок митий	м³	4,8	82	393,81	17170,06
Матеріали для зливних колодязів	компл.	206,1	3	572,59	24965,04
Тр. аератор Jaeger, TD65-2-G1-1000_	шт.	44,46	283	12597	549229,2
Конектор для підкл. аераторів до тр. 80х80	шт.	41	142	5814	253490,4
Біозавантаження Bioflo+ 800	м³	500	98	48750	2125500
Біозавантаження «Bio-Blok 150 HD»	м³	275	260	71500	3117400
Повітродувка Elektror 1SD 810 5,5 КВт	шт.	2200	22	48400	2110240
Додаткові витрати на труби, кріплення, монтаж	10%	27968,1	-	-	1219409
Загальна сума на будівництво та обладнання	-	-	-	307649	13413510

Окрім капітальних витрат, до складу капітальних інвестицій включено оплату праці спеціалізованої будівельної бригади. Враховуючи сучасні ціни на ринку, вартість комплексних монолітних робіт прийнята на рівні 3500 грн/м³. Отже, вартість будівельно-монтажних робіт:

$$603\ м^3 * 3500 \frac{грн}{м^3} = 2110500\ грн.$$

Таким чином, загальна сума капітальних вкладень становить: 15 270 514 грн.

5.2. Розрахунок амортизаційних витрат

Для формування собівартості продукції необхідно врахувати знос основних засобів. Нарахування амортизації здійснюється з застосуванням прямолінійного методу, сутність якого полягає у рівномірному перенесенні балансово вартості активів на готову продукцію протягом всього терміну експлуатації.

Враховуючи різні нормативні строки служби, капітальні витрати було розподілено на дві облікові групи:

1. Будівлі та споруди, до яких відносяться бетонні басейни, арматура, колодязі: норма амортизації становить 5% на рік, що відповідає терміну служби 20 років. Розрахункова база з урахуванням монтажних робіт становить: 4 442 055 грн.

2. Машини та обладнання, до яких відносяться повітродувки, аератори, пластикове біозавантаження: норма амортизації становить 15% на рік, що відповідає терміну служби в 6-7 років. Розрахункова база становитиме 8 971 441 грн.

Річна сума амортизаційних відрахувань обчислюється як сума зносу обох груп:

$$A_{рік} = (4\ 442\ 055 * 0{,}05) + (8\ 971\ 441 * 0{,}15) = 222\ 103 + 1\ 345\ 716 = 1\ 567\ 819\ грн/рік$$

Через те що регламентом проєкту передбачено проведення 3 повноцінних виробничих циклів вирощування на рік, сума амортизації для однієї товарної партії в 50 тонн складає:

$$А_{цикл} = \frac{1567819}{3} = 522\ 606\ грн/цикл$$

5.3. Розрахунок витрат на оплату праці

Функціонування індустріальної РАС потребує безперервного технологічного контролю, цілодобового обслуговування. Для забезпечення повноцінної роботи господарства потужністю 150 тонн форелі на рік сформовано штатний розпис що налічує 11 співробітників. До нього входить директор та бухгалтер, інженерно-технологічний персонал – головний рибовод та інженер механік. Також до штатного розпису віднесений виробничий штат з чотирьох змінних робітників-рибоводів, водія та двох охоронців.

Таблиця 5.2.

Штатний розпис та розрахунок фонду оплати праці

Посада	Кількість одиниць	Посадовий оклад, грн/міс	Загальний місячний ФОП, грн
Директор	1	40 000	40 000
Головний рибовод	1	30 000	30 000
Бухгалтер	1	25 000	25 000
Інженер-механік	1	25 000	25 000
Робітник-рибовод	4	18 000	72 000
Водій-експедитор	1	20 000	20 000
Охоронник	2	15 000	30 000
Разом:	11	-	242 000

Згідно з описаним штатним розписом, щомісяцний фонд оплати праці (ФОП) становитиме 242 000 грн. Оскільки розрахунки ведуться для одного з трьох виробничих циклів, базовий ФОП за один повний річний цикл складає 968 000 грн. Додатково до цієї суми підприємство сплачує ЄСВ у розмірі 22% від річного ФОП, що складе 212 960 грн. Кожна з цих витрат включаються у виробничу собівартість продукції.

5.4. Розрахунок собівартості продукції

Операційні витрати розраховані на один виробничий цикл. Основними статтями витрат є комбікорми, посадковий матеріал та електроенергія. Розрахунки приведені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Виробнича собівартість партії продукції (50 тонн)

Стаття витрат	Обґрунтування розрахунку	Сума, грн	Питома вага, %
Корми (Alltech Coppens)	45 588 кг * 172 грн/кг (FCR 1.0)	7841176	59,74
Посадковий матеріал	147 059 шт. * 15 грн/шт.	2205885	16,81
Електроенергія	40 кВт * 2918,4 год * 8,50 грн	992256	7,56
Оплата праці (11 ос.)	Фонд оплати праці за 4 місяці, згідно з табл. 5.2.	968 000	7,37
Соціальні заходи	22% від ФОП	212 960	1,62
Амортизація ОЗ	Прямолінійний метод (1/3 року) пункт 5,2.	522 606	3,98
Інші витрати	3% від суми вище	382 286	2,92
РАЗОМ за цикл		13125169	100

Отже, відповідно до проведених розрахунків, виробнича собівартість 1 кг товарної форелі складе:

$$\text{Собівартість} = \frac{13125169}{50000} = 262{,}5 \text{ грн.}$$

5.5 Фінансові результати та показники ефективності

Для оцінки фінансової ефективності проєкту було прийнято середню оптову ціну підприємства на рівні 320 грн/кг. Розрахуємо основні показники за один виробничий цикл довжиною 4 місяці та за рік:

Виручка за цикл: 50 000 кг * 320 грн = 16 000 000 грн.

Валовий прибуток за цикл: 16 000 000 – 13 125 169 = 2 874 831 грн.

Річний прибуток за врахування 3 циклів на рік: 2 874 831 * 3 = 8 624 493 грн.

Рентабельність продукції: $\left(\frac{2874831}{13125169}\right) * 100\% = 21{,}90\ \%$

Строк окупності капітальних інвестицій: 15 270 514 / 8 624 493 = 1,77 року

Отже, результати розрахунків вказують, що проєкт має високий рівень фінансової стабільності. Термін окупності нвестицій складе приблизно 21 місяць, що є підтвердженням економічної доцільності створення запроєктованого форелевого господарства.

ВИСНОВКИ

У результаті розробки біолого-технологічного обґрунтування проєкту товарного форелевого господарства на базі технології РАС потужністю 150 тонн на рік було вирішено поставлені завдання та отримано такі результати:

1. Засновуючись на аналізу біологічних особливостей райдужної форелі (*Oncorhynchus mykiss*) та кліматичних умов регіону обгрунтовано доцільність вирощування цього виду в умовах контрольованого середовища (за температури води 15°С), що нівелює вплив зовнішніх негативних природних факторів на технологічний процес.

2. Розроблено схему технологічного процесу вирощування риби безперервно. Встановлено, що за використання TGC-моделі з показником С = 2,3, термін вирощування форелі складе 123 доби за умов вирощування від 30 грам до товарної маси в 400 грам. Для забезпечення рівномірного вилову протягом року передбачено зариблення трьома партіями на рік.

3. Розраховано базові технологічні потреби господарства. Потреба в рибопосадковому матеріалі становить 147 059 екз. на партію, або 441 176 екз на рік, з врахуванням виживання на рівні 85%. Пікова біомаса в системі складатиме 54 413 кг, для утримання якої, за щільностей посадки на рівні 71 кг/м³, необхідно побудувати 11 бетонних басейнів з робочим об’ємом 75 м³ кожен. Пікова потреба в комбікормах складе 500 кг, враховуючи кормовий коефіцієнт 1,0.

4. Визначено параметри системи водопідготовки. Для нейтралізації 24 кг амонійного азоту (TAN) що виділяється в систему кожного дня, необхідна система двоступеневої біологічної фільтрації загальним об’ємом в 507 м³. Для підтримки концентрацій нітратів на безпечному рівні, до 70 мг/л, розраховано необхідну витрату води на підживлення системи в обсязі 342,8 м³/добу. В свою

чергу, продуктивність механічної фільтрації для видалення 125 кг зважених речовин на добу має складати 1036 м³/год.

5. Підібрано технологічне обладнання, що відповідає розрахованим навантаженням. Для аєрації та циркуляції води обрано промислову вихрову повітродувку Elektror 1SD 810 (5,5 кВт), що відповідає потребам господарства в 324 м³ повітря/год при тиску 284,4 мбар. Для біофільтрції обгрунтовано застосування рухомого біозавантаження Bioflo+ 800 в обсязі 195 м³ для першого ступеня очистки, та фіксованого блочного завантаження Bio-Blok 150 HD в обсязі 312 м³ для 2 ступеня очистки води.

6. Визначено ключові економічні показники ефективності підприємства. Капітальні інвестиції у будівництво та обладнання склали 15,27 млн грн. Виробнича собівартість 1 кг форелі становить 262,50 грн. За оптової ціни реалізації 320 грн/кг рентабельність продукції становить 21,9%, а терміни окупності капітальних інвестицій – 1,77 року.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. З метою зменшення експлуатаційних витрат на електроенергію рекомендується застосувати ерліфти в поєднанні з вихровими повітродувками що підтримують частотні перетворювачі, що дасть змогу регулювати потужність аерації синхронно з ростом біомаси риби в системі.

2. Пропонується також облаштувати цех переробки продукції поруч з господарством, завдяки якому додатково формуватиметься висока додана вартість на товар. Замкнений цикл виробництва дасть змогу розширити асортимент продукції та підвищити рентабельність бізнесу, пришвидшити термін окупності проєкту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Практичні рекомендації щодо виробництва райдужної форелі в умовах зростання попиту на технології циркулярної економіки : посібник / уклад. Ю. Є. Шарило та ін. Київ : НУБіП України, 2022. 79 с.

2. Bazaz A. I. et al. A review on induction of triploidy in fish using heat, pressure and cold shock treatments. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2020. Vol. 8, № 3. P. 381–385.

3. Холодноводне рибництво : методичні вказівки до виконання практичних робіт для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 207 «Водні біоресурси та аквакультура» / Н. Є. Гриневич та ін. Біла Церква, 2022. 87 с.

4. Yiğit M., Aral O. A Comparison of the Growth Differences of Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss W., 1792) in Freshwater and Seawater (The Black Sea). Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 1999. Vol. 23, No. 1. P. 53–60

5. Molony B. Environmental requirements and tolerances of Rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) and Brown trout (Salmo trutta) with special reference to Western Australia : a review. Fisheries Research Report (Western Australia). 2001. No. 130. P. 1–28.

6. Cultured Aquatic Species Information Programme : Oncorhynchus mykiss (Walbaum, 1792) / FAO Fisheries and Aquaculture Division. URL: https://www.fao.org/fishery/en/culturedspecies/oncorhynchus_mykiss/en (дата звернення: 23.01.2026).

7. Woynarovich A., Hoitsy G., Moth-Poulsen T. Small-scale rainbow trout farming. Rome : FAO, 2011. 81 p. (FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper ; No. 561).

8. Андрющенко А. І., Вовк Н. І. Аквакультура штучних водойм. Частина ІІ. Індустріальна аквакультура: підручник. Київ:, 2014. 586 с.

9. Thurston R. V., Russo R. C. Acute Toxicity of Ammonia to Rainbow Trout. Transactions of the American Fisheries Society. 1983. Vol. 112, Is. 5. P. 696–704. DOI: https://doi.org/10.1577/1548-8659(1983)112

10. Effects of subchronic nitrite exposure on rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) / H. Kroupova et al. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2008. Vol. 71, Is. 3. P. 813–820. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2008.01.015

11. Diagnostics, prevention and therapy of fish diseases and intoxications / Z. Svobodová et al. FAO Fisheries and Aquaculture Department. Rome: FAO, 1991. URL: https://www.fao.org/fishery/docs/CDrom/aquaculture/a0845t/volume2/docrep/field/003/ac160e/AC160E05.htm?utm (дата звернення: 27.01.2026).

12. Türker A., Yıldırım Ö. Interrelationship of Photoperiod with Growth Performance and Feeding of Seawater Farmed Rainbow Trout (Oncorhynchus mykiss). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 2011. Vol. 11. P. 393–397. DOI: 10.4194/1303-2712-v11_3_08

13. Recirculating Aquaculture Systems (RAS) for Cultivating Oncorhynchus mykiss and the Potential for IoT Integration: A Systematic Review and Bibliometric Analysis / D. E. Grandez-Yoplac et al. Sustainability. 2025. Vol. 17, Is. 15. Art. 6729. DOI: https://doi.org/10.3390/su17156729

14. Depuration of geosmin- and 2-methylisoborneol-induced off-flavors in recirculating aquaculture system (RAS) farmed European whitefish Coregonus lavaretus / P. C. Lindholm-Lehto et al. Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 56, Is. 10. P. 4585–4594. DOI: https://doi.org/10.1007/s13197-019-03910-7

15. Trout Culture in Recirculatory Aquaculture System (RAS). Hyderabad: National Fisheries Development Board, Department of Fisheries, Ministry of Fisheries,

Animal Husbandry & Dairying, Government of India, [б. р.]. URL: https://nfdb.gov.in (дата звернення: 01.02.2026).

16. Effects of Feeding Frequency on Turbot (Scophthalmus maximus) Performance, Water Quality and Microbial Community in Recirculating Aquaculture Systems / X. Guo et al. Fishes. 2025. Vol. 10, Is. 3. Art. 125. DOI: https://doi.org/10.3390/fishes10030125

17. Hutchinson, Wayne & Jeffrey, Mathew & O'Sullivan, David & Casemen, Daniel & Clarke, Steven. (2004). Recirculating Aquaculture Systems: Minimum Standards for Design, Construction and Management.

18. Recirculating Aquaculture Systems / M. B. Timmons et al. Ithaca, NY : Cayuga Aqua Ventures, 2002. 769 p.

19. Dumas, A., France, J., Bureau, D. P. (2007). Evidence of three growth stanzas in rainbow trout (Oncorhynchus mykiss) across life stages and adaptation of the thermal-unit growth coefficient. Aquaculture, 267(1-4), 139-146.

20. Lekang, Odd-Ivar. (2013). Aquaculture Engineering: Second Edition. Aquaculture Engineering: Second Edition. 10.1002/9781118496077.

21. Офіційні технічні специфікації та програми годівлі компанії …. (аб іншого виробника, якого ви обрали). Режим доступу: [вказати сайт].

22. Bureau, Dominique & Hua, Katheline. (2010). Towards effective nutritional management of waste outputs in aquaculture, with particular reference to salmonid aquaculture operations. Aquaculture Research. 41. 777 - 792. 10.1111/j.1365-2109.2009.02431.x.

23. Коваленко В. О., Охріменко О. В. Аквакультура штучних водойм. Ч. 2 : електронний навчальний курс. Навчально-інформаційний портал НУБіП України. URL: https://elearn.nubip.edu.ua/course/view.php?id=999 (дата звернення: 13.03.2026).

24. Люта Н., Саніна І. Особливості хімічного складу підземних вод у теригенних відкладах еоцену та альб-сеноману в басейні Дніпра. Вісник

Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2024. Вип. 1(104). С. 107–114. DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.104.13

25. Гідрогеологія України : навч. посіб. для студентів геол., геогр. та екол. спец. вищ. навч. закл. / Ж. С. Камзіст, О. Л. Шевченко; М-во освіти і науки України. – Київ: ІНКОС, 2009. – 613 с. : табл., рис.

26. Аналіз ринку лососевих в Україні: фактори і прогнози ринку. Pro-Consulting : вебсайт. URL: https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/analiz-rynka-lososevyh-v-ukraine-faktory-i-prognozy-rynka (дата звернення: 17.03.2026).

27. Ринок HoReCa в Україні: регіональні тенденції в 2023 році. Pro-Consulting : вебсайт. URL: https://pro-consulting.ua/ua/pressroom/rynok-horeca-v-ukraine-regionalnye-tendencii-v-2023-godu_1 (дата звернення: 17.03.2026).

28. Andreasen A. Model 3 Farms – RAS : presentation. BioMar Denmark. 2014. URL: https://hgk.hr/documents/vukovar2014-007-andreasen5b027634c8f3d.pdf (дата звернення: 18.03.2026).

29. Bregnballe J. A Guide to Recirculation Aquaculture : An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. Rome : FAO, 2015. 90 p.

30. Водний кодекс України : Кодекс України від 06 черв. 1995 р. № 213/95-ВР. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text (дата звернення: 21.03.2026).

31. Hiscock K. M., Grischek T. Attenuation of groundwater pollution by bank filtration. Journal of Hydrology. 2002. Vol. 266. P. 139–144.

32. Вінтоняк В. В. Дослідження еколого-геохімічного стану річки Лімниця. Future in the results of modern scientific research : матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 2024. URL: https://www.proconference.org/index.php/gec/article/view/gec34-00-013 (дата звернення: 21.03.2026). DOI: 10.30890/2709-1783.2024-34-00-013.

33. Вода рибогосподарських підприємств. Загальні вимоги та норми : СОУ 05.01-37-385:2006. [Чинний від 2007-11-01]. Київ : Інститут рибного господарства УААН, 2006. 13 с.

34. Стаценко Я. Найчистіша річка України: Лімниця та карпатські перлини. Wem.ua : вебсайт. URL: https://wem.ua/najchystisha-richka-ukrayiny-limnyczya-ta-karpatski-perlyny/ (дата звернення: 24.03.2026).

35. Utin U., Oguike P., Udo-Inyang U. Modelling of infiltration rates in soils derived from contrasting parent materials using Horton's model. Agro-Science. 2025. Vol. 23(3). P. 19–26. DOI: https://doi.org/10.4314/as.v23i3.4

36. Джигола Б. В. Морфологічні особливості алювіальних ґрунтів заплави р. Лімниця в межах Передкарпаття : курсова робота. Львів : Львів. нац. ун-т ім. І. Франка, 2023.

37. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome : FAO, 2024. URL: https://doi.org/10.4060/cd0683en.

38. Чому в Україні зникають малі річки і як їх повернути до життя. Тексти.org.ua : вебсайт. URL: https://texty.org.ua/fragments/115962/chomu-v-ukrayini-znykayut-mali-richky-i-yak-yih-povernuty-do-zhyttya/ (дата звернення: 07.04.2026).

39. Технологічні схеми вирощування лососевих. Державна установа «Рибоводний форелевий завод "Лопушно"» : офіційний вебсайт. URL: http://lopushno.info (дата звернення: 07.04.2026).

40. Woitel F. R. Rainbow Trout Production in Recirculating Aquaculture Systems : technical report. Nelsonville : Hocking College

41. Лабораторна робота 6.3. Планування робіт з вирощування товарної риби у рециркуляційних системах аквакультури. Модуль 6. Технології товарної індустріальної аквакультури // Навчально-інформаційний портал НУБіП України : [електронний ресурс]. URL:

https://elearn.nubip.edu.ua/mod/assign/view.php?id=122601 (дата звернення: 12.04.2026).

42. Bioflo+ 800. Warden Biomedia : офіційний сайт. URL: https://wardenbiomedia.com/products/bioflo-800/ (дата звернення: 18.04.2026).

43. Products. BIO-BLOK : офіційний сайт. URL: https://bio-blok.com/products-2 (дата звернення: 18.04.2026).

44. Side channel blowers 1SD 810. Elektror airsystems gmbh : офіційний сайт. URL: https://www.elektror.com/en/product/1sd810/ (дата звернення: 18.04.2026).

45. Oncorhynchus mykiss [Електронний ресурс] // FishBase. — Режим доступу: https://www.fishbase.se/Fieldguide/FieldGuideSummary.php?genusname=Oncorhynchus&speciesname=mykiss&c_code=643 (дата звернення: 10.05.2026).

46. Лічний І. І. Стан і динаміка ринку лососевих риб в Україні: тенденції, проблеми та перспективи розвитку. URL: https://dspace.onu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/bff802e7-3e36-4eac-aed8-07a2d77d0fd1/content (дата звернення: 15.05.2026).