

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Островський Сергій Володимирович

УДК 639.3.06

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ У
РИБОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Островський С.В.

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Островський Сергій Володимирович. Обґрунтування параметрів установки для очищення води у рибогосподарських підприємствах. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі розроблено методики розрахунку та підбору штучних джерел світла, установки біологічного очищення оборотних вод, їхньої кількості, а також визначення параметрів освітлювальних елементів із врахуванням оптичної густини та коефіцієнта пропускання на відстані 15-25 см від поверхні культивованого середовища за світлового потоку світлодіодів у діапазоні 25-65 Лм.

Встановлено, що споживана потужність освітлювально-аераційної установки склала 63 Вт/год, що не перевищує експлуатаційні витрати денітрифікації. Непрямим показником ефективності очищення вод установкою з освітлювально-аераційним елементом є приріст маси риби, що вирощується, на 20-30% на місяць при повнішому використанні кормів через підвищення прозорості води. Встановлено розрахунком і підтверджено експериментально, відстань між суміжними освітлювально-аераційними пристроями в біореакторі має бути не більше 140 см, за умови розташування їх на відстані 70 см від стінок.

Встановлено, що в разі ввімкнення синьо-червоного освітлення відбувається підвищення активності та приріст аеробних мікроорганізмів, які тим самим витісняють анаеробні та аноксидні мікроорганізми.

Ключові слова: установка, параметр, біореактор, освітлення, корма.

ANNOTATION

Ostrovsky Sergey Vladimirovich. Substantiation of parameters of water treatment plant in fishery enterprises. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The master's thesis developed methods for calculating and selecting artificial light sources, a biological treatment plant for recycled water, their quantity, and determining the parameters of lighting elements, taking into account the optical density and transmittance at a distance of 15-25 cm from the surface of the cultured medium at a luminous flux of LEDs in the range of 25-65 Lm.

It was found that the power consumption of the lighting and aeration unit was 63 W/h, which does not exceed the operating costs of denitrification. An indirect indicator of the efficiency of water treatment by a plant with a lighting and aeration element is an increase in the weight of farmed fish by 20-30% per month with a fuller use of feed due to increased water transparency. The distance between adjacent lighting and aeration devices in a bioreactor should be no more than 140 cm, provided they are located at a distance of 70 cm from the walls, as determined by calculation and confirmed experimentally.

It has been established that when blue-red lighting is switched on, there is an increase in the activity and growth of aerobic microorganisms, which thereby displace anaerobic and anoxic microorganisms.

Keywords: installation, parameter, bioreactor, lighting, feed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ УСТАНОВОК ОЧИЩЕННЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ВОД РИБОРОЗВЕДЕННЯ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРАЦІЇ.....	19
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	40
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	52

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сільське господарство – одна з найбільших галузей економіки країни, і з кожним роком в Україні нарощується його обсяг. Згідно з наказом Міністерства охорони здоров'я України і вимогами здорового харчування, норма річного споживання рибопродуктів становить 22 кг на людину, у той же час споживання риби на душу населення у 2021 р. становило – 15 кг/рік.

Аквакультура – один із пріоритетних напрямів у сільському господарстві. Згідно з державною програмою держфінансування, щороку зростає обсяг коштів, що виділяються на розвиток аквакультур і осетрівництва, а також на компенсацію шкоди, завданої водним біоресурсам і середовищу їхнього існування внаслідок господарської діяльності. За підтримки держави широкого поширення набули підприємства з вирощування риб із системою замкнутого водопостачання.

Актуальність теми дослідження підтверджується необхідністю вдосконалення режимів очищення стічних вод установок замкнутого водопостачання на біофільтрах з увімкненим вузлом денітрифікації, у разі відхилень у роботі якого знижуються прирости та можлива загибель риби, що розводиться.

Підвищення ефективності виробництва рибницьких підприємств, а також розробка технології та пристроїв з модернізації систем очищення їхніх стічних вод є перспективними напрямками для дослідження.

Об'єкт дослідження – установка біологічного очищення оборотних вод рибогосподарських підприємств.

Предмет дослідження – залежності параметрів установки очищення вод на об'єктах риборозведення.

Мета дослідження. Обґрунтування параметрів установки, що підвищують ефективність очищення вод рибницьких підприємств.

Для досягнення поставленої мети, в роботі вирішувалися такі **завдання**:

- дослідження режимів очищення вод на установках закритого водопостачання (УЗВ) у лабораторних і дослідно-промислових умовах;
- визначення оптимальних умов освітлювально-аераційного елемента в установках біологічного очищення оборотних вод на об'єктах риборозведення;
- розробка рекомендацій щодо впровадження та експлуатації установки біологічного очищення оборотних вод.

Методи наукового дослідження. Методологія наукових досліджень базувалася на аналітичних узагальненнях відомих наукових і практичних результатів, лабораторних методах хімічного аналізу, регресійного аналізу експериментальних даних, статистичної обробка результатів досліджень на ПЕОМ за стандартними програмами.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Островський С.В.** Аналіз технологій і технічних рішень установок очищення оборотних вод риборозведення. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 228-229.

2. Міненко С.В., **Островський С.В.** Монтаж і дослідження режиму роботи освітлювально-аераційної установки в біофільтрі. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 213-215.

3. Міненко С.В., **Островський С.В.** Впровадження освітлювальних елементів у біофільтри барабанного типу. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для підприємств агропромислового комплексу представляє розроблена установка очищення вод на об'єктах риборозведення.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 18 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 54 сторінки комп'ютерного тексту, містить 37 рисунків і 8 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ І ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ УСТАНОВОК ОЧИЩЕННЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ ВОД РИБОРОЗВЕДЕННЯ

Проаналізуємо методи очищення стічних вод рибницьких підприємств, розташованих поза заводними акваторіями (ставки та басейни риборозведення). При цьому стічні води підрозділяються на оборотні, що повертаються (до 75% від витрати) на вирощування риб, і продувні, що скидаються (до 25% від витрати) в приймач стічних вод. При цьому ступінь очищення цих вод різний: оборотні очищаються до нормативів, для вирощування риб, а продувні - до скидання у водойму - приймач стічних вод (найчастіше - до рибогосподарських). Здебільшого, технологічні схеми являють собою поєднання механічних (різні варіанти мікромереж) та біологічних методів (переважно, біофільтри та аеротенки). В основі технології біологічного очищення лежить використання активного мулу або біоплівки, що представляють спільноту аеробних і анаеробних мікроорганізмів, а також мікроводоростей [16].

Під час побудови системи водообороту рибницьких підприємств, виходячи зі складу води, необхідно розглядати сукупність усіх процесів, що одночасно протікають, трансформації забруднень у блоках очищення, вилучення їх у вигляді осадів, біомаси, що приростає, виділення вторинних забруднень [16].

Для очищення продувних вод технологічна схема доповнюється вузлом доочищення, найчастіше, із застосуванням адсорбції [16].

Методи водоочищення поділяються залежно від складу забруднювальних речовин на фізико-механічні, фізичні, хімічні та біологічні. Вибір системи очищення, склад споруд будуються на основі використання комплексу методів, склад яких визначається видами забруднень, витратами і нерівномірністю припливу вод, кліматичними умовами тощо [16].

Забруднення вод поділяються на органічні, мінеральні, біологічні. До списку епідеміологічних вимог щодо складу води входить низка показників,

зокрема важкі метали, розчинений кисень, нафтопродукти, мікробне число, бактерії групи кишкової палички, яйця гельмінтів. За цими ж показниками оцінюють якість води рибницьких водойм [16].

Важливо, що одним із джерел розчиненого кисню у воді (близько 100%) є процес фотосинтезу дрібних одноклітинних водоростей, фітопланктону. Але слід враховувати кисень з атмосфери [16].

Ефективно працювати очисні споруди можуть у певному діапазоні концентрацій забруднювальних речовин і витрати стічної води. Під час виробничих процесів можуть виникати коливання цих величин. Для їх усереднення на початку очисних споруд, буває і на наступних етапах очищення, передбачають проєктування усереднювачів. Що дає змогу не тільки усереднювати потік за концентрацією, а й змішувати потоки з різних ліній технологічного процесу [16].

Таким чином можна скласти такий перелік методів очищення стічних вод:

- 1) механічне очищення (решітки, пісковловлювачі, відстійники) [16];
- 2) біологічне очищення (від органічних речовин) [16];
- 3) фізико-хімічне очищення (в його основі лежать процеси, які підкоряються фізико-хімічним законам) [16].

Для ефективнішого видалення забруднювальних речовин може в систему включати передочищення. Її застосування, як самостійний метод, так і в сукупності з іншими етапами очищення [16].

Очисні споруди для видалення завислих речовин, розчинених домішок у вигляді окремих іонів, молекул або комплексів молекул більш детально мають таку послідовність [16]:

- 1) усереднення стічних вод;
- 2) решітки, пісковловлювачі, відстійники, флотація для очищення від грубодисперсних речовин, гідроциклони, центрифуги;
- 3) коагуляція, флокуляція, електрокоагуляція для видалення колоїдно-дисперсних домішок;

- 5) обробка на фільтрах із різним завантаженням (піщано-гравійним, антрацитовим тощо);
- 6) дегазація, адсорбція, екстракція видаляють молекулярні домішки шляхом;
- 7) іонний обмін, дистиляція, ультрафільтрація, електродіаліз, мембранні методи застосовують для очищення вод від іонних забруднень;
- 8) біологічне очищення стічних вод методами аерації та біофільтрації;
- 9) глибоке очищення, яке проводять на фільтрах різної конструкції через шар завантажувального матеріалу;
- 10) знезараження стічних вод [16].

Для запобігання загибелі екосистеми водойми через зменшення вмісту кисню за рахунок мінералізації органічних домішок, стічну воду насичують киснем штучно. Так відбувається інтенсифікація процесів очищення стічної води [16].

Однією з основних стадій очищення стічних вод є біологічна обробка. У процесі біологічного очищення видаляються розчинені та колоїдні органічні забруднення, а також здійснюється сорбція багатьох забруднень техногенного походження, які біонерозкладаються. Сполуки азоту видаляються зі стічних вод досить складно, від концентрації та виду яких залежить склад очисних споруд і тривалість обробки.

Для здійснення глибокого біологічного очищення стічних з повним окисленням проєктуються біофільтри та аеротенки повного окиснення органічних забруднень без процесів нітри-денитрифікації. Важливо зазначити, що після застосування в схемі очищення стічних вод біофільтрів складно модернізувати очисні споруди для глибокого видалення сполук азоту (процесів нітри-денитрифікації). Що не стосується аеротенків повного окислення: у них можуть бути організовані анаеробно-аеробні зони для здійснення процесів нітри-денитрифікації.

Підтримання в біологічній системі певного віку активного мулу необхідне для того, щоб проводити більш ефективно очищення стічних вод із процесами нітри-денитрифікації.

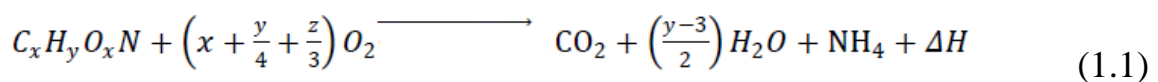
Активний мул - це "живий організм", що складається з мікроорганізмів і мікроводоростей, які за рахунок окиснення органічних речовин зі стічної води, таким чином, здійснюють біологічне очищення.

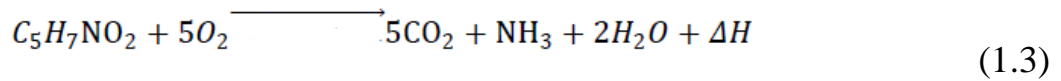
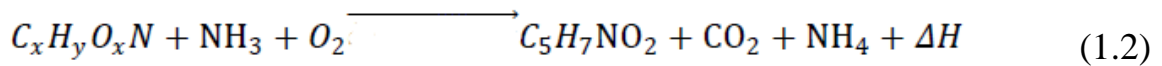
Оскільки активний мул - це жива система, то її мешканці розподілені в ній за трофічними рівнями. I трофічний рівень утворюють гетеротрофні бактерії, водорості, сапрофітні гриби та сапрофітні найпростіші; II рівень - голозойні найпростіші; III трофічний рівень - це окремі види нематод, хижі коловертки, інфузорії, тихоходки, хижі гриби. Можуть спостерігатися кільчасті черви. Практика експлуатації споруд біологічного очищення стічних вод показувала, що кількість трофічних рівнів зазвичай дорівнює двом.

Екосистему активного мулу утворюють мікроорганізми з різними харчовими потребами. Їхня видова різноманітність залежить від ступеня окислення органічних забруднювальних речовин.

На ефективність очищення впливає наявність багатокomпонентних ферментних систем. Ферменти знаходяться в цитоплазмі та навколоцитоплазматичних структурах клітини. Можуть бути так само на її поверхні і виділятися в навколишнє середовище. Активний мул порівняно з природними біоценозами значно схильний до зовнішнього впливу, зокрема антропогенного, ніж до внутрішнього. У ньому важлива присутність організмів, які можуть одночасно окислювати великі кількості різноманітних субстратів. У цьому виражається ще одна перевага активного мулу з великою видовою різноманітністю перед більш збідненими екосистемами.

Сумарні реакції біохімічного окиснення органічних речовин в аеробних умовах схематично можна представити в такому вигляді:





де, $C_xH_yO_zN$ - усі органічні речовини стічних вод, $C_5H_7NO_2$ - середнє співвідношення основних елементів у клітинній речовині бактерій.

Реакції 1.1-1.4 описують процес окислення речовини на енергетичні потреби клітини, синтез клітинної речовини, і так зване "дихання клітини". Витрати кисню на ці реакції становлять $BPK_{повн}$.

Практично нездійснено підтримувати заданий вік мулу в спорудах з іммобілізованою мікрофлорою. У таких спорудах глибокий ступінь очищення від сполук азоту можливий за роботи їх у режимі (за часом перебування стічних вод) подовженої аерації. Недоліком таких споруд порівняно зі спорудами повного окислення є їхній об'єм, збільшений у 1,5...2 рази. Що позначається і на вартості як капітальних витрат на будівництво великих конструкцій та енергетичних витрат на аерацію, так і на вартості збільшеного завантажувального матеріалу. Таким чином, застосування споруд із прикріпленою мікрофлорою (біофільтри, біореактори) має бути оцінене з кількох позицій для вибору найвигіднішого варіанта і з погляду ефективності очищення, і з економічної точки зору.

Здебільшого біофільтри застосовуються на очисних спорудах невеликої продуктивності. Бажано, щоб після проходження через споруди механічного очищення, на подальші етапи очищення стічні води надходили самопливом. Тому на вибір типу споруд біологічного очищення ще впливає рельєф місцевості.

Біофільтри можуть працювати в режимі повного та неповного біологічного очищення, різняться між собою за завантажувальним матеріалом (його форма, склад).

Уперше краплинні біофільтри для витрати стічних вод близько 1000 м³/добу були показані світові в далекому 1893 р. у Великій Британії (рис. 1.1).

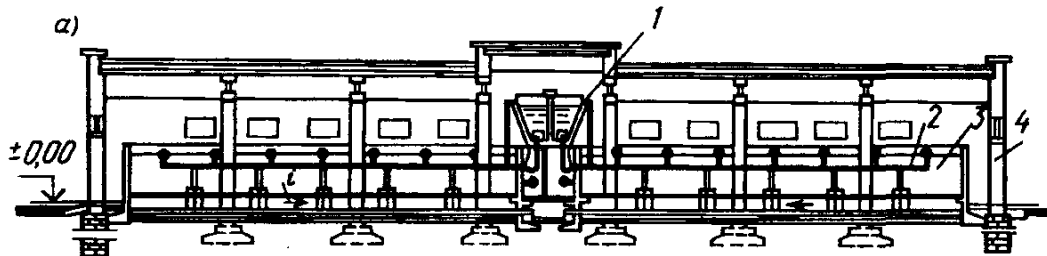


Рис. 1.1. - Пристрій крапельного біофільтра: 1 – дозувальні баки стічної води; 2 – спринклери; 3 – завантажувальний матеріал; 4 – стіни біофільтра.

Таблиця 1.1 – Біофільтри з площинним завантаженням.

№ п/п	Тип завантаження	Матеріал елементів	Щільність завантаження, кг/м ³	Пористість, %	Висота шару, м
1	Жорстке засипне завантаження	Керамічні, пластмасові, металеві засипні елементи	100...650	70.92	1..6
2	Жорстке блокове завантаження	Гофровані або плоскі листи, об'ємні елементи з пластмаси та азбестоцементу	40...150	90...98	2...16
3	М'яке або рулонне завантаження у вигляді каркасів або рулонів	Металеві сітки, пластмасові плені, синтетичні тканини (нейлон, капрон)	5...65	94-99	3...8

Стічна вода, пройшовши очищення в первинних відстійниках, подавалася в розподільні пристрої у вигляді крапель або струменів. Через дренаж або відкриту поверхню біофільтра здійснювалася природна вентиляція. Споруди

мали навантаження, що становило 0,5-2 м³/добу на 1 м³ об'єму завантажувального матеріалу.

Таблиця 1.2- Біофільтри з об'ємним завантаженням.

№ п/п	Тип фільтра	Крупність фракцій, мм	Висота шару, м	Щільність матеріалу, кг/м ³	Пористість, %
1	Капельні	20...30	1...2	500...1500	40...55
2	Високонавантажувані	40...60	2...4		
3	Баштові	60...80	8...16		

Для відокремлення води від біоплівки, що виноситься, встановлюють вторинні відстійники. Однією з важливих умов ефективної роботи споруд є навантаження на біомасу - у разі перевищення допустимого навантаження відбувається прискорене замулювання поверхні крапельних біофільтрів, що різко знижує їхню ефективність.

Можливі одно- і двоступенева схеми встановлення біофільтрів, а також режими роботи з рециркуляцією і без неї (рис. 1.2).

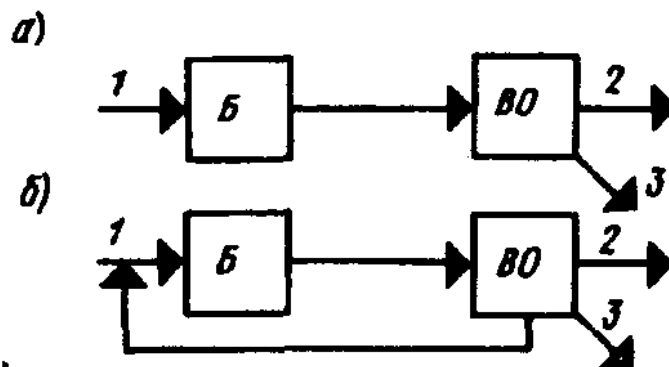


Рис. 1.2. Схеми роботи біофільтрів: а - одноступенева; б - одноступенева з рециркуляцією; 1 – подача стічних вод після споруд механічного очищення; 2 - біологічно очищені стічні води; 3 – надлишкова (відмерла) біоплівка.

За конструкцією краплинні біофільтри можуть бути круглими або прямокутними в плані, із суцільними стінками та подвійним дном, верхнім у вигляді колосникових ґрат і нижнім - суцільним.

Як завантажувальні матеріали біофільтрів використовують щебінь, гравій і гальку. Завантаження біофільтрів по висоті вибирається однакової крупності, але

для нижнього підтримуючого шару повинен застосовуватися матеріал більшої фракції.

Відомі так звані аерофільтри, високонавантажувальні біофільтри, в яких окислювальна потужність перевищує потужність краплинних біофільтрів (рис. 1.3). Внаслідок чого - менше замулювання та кращий обмін повітря в споруді.

Дуже важлива в роботі біофільтрів форма, розмір і висота завантажувального матеріалу. Від цього залежить тривалість фільтроциклу, і подальше продування матеріалу. У високонавантажуваних біофільтрах здійснюється штучне продування ще й завдяки особливостям конструкції днища та дренажу.

Найчастіше вода з рибоводних басейнів має відносно невисокі концентрації забруднювальних речовин. До технологічних схем очищення води від наведеного складу забруднень у системах оборотної водопідготовки включають блоки механічного та біологічного очищення. Найчастіше застосовують такі споруди, як фільтри та флотатори.

Для біологічного очищення використовують біофільтри, очищення в яких більшою мірою відповідають вимогам якості води в риборозведенні. Їхні переваги:

- інтенсифікація процесів очищення відбувається, в основному, за рахунок створення в біологічному блоці високих концентрацій біомаси;
- забезпечення умов для життєдіяльності мікроорганізмів з урахуванням їхнього походження (гетеротрофи та автотрофи) і розподілу за трофічними рівнями;
- зменшення витрат на аерацію води.

Ефективній роботі біофільтрів сприяє також підвищений водообмін, бо полегшується розподіл рідини на вході в споруду, поліпшуються її гідродинамічні характеристики, збільшується коефіцієнт корисного використання поверхні завантажувального матеріалу.

Як уже зазначалося, великого поширення для вирощування риб набула технологія з повторним використанням води, так звані установки замкнутого водопостачання (УЗВ). Рециркуляція підходить для вирощування риб, креветок, двостулкових моллюсків тощо. Вона не тільки полегшує процес риборозведення, а й дає змогу знизити його негативний вплив на навколишнє середовище. Для ефективної роботи такої технології з повторним використанням води потрібне грамотне проведення процесу, впровадження автоматизованих систем.

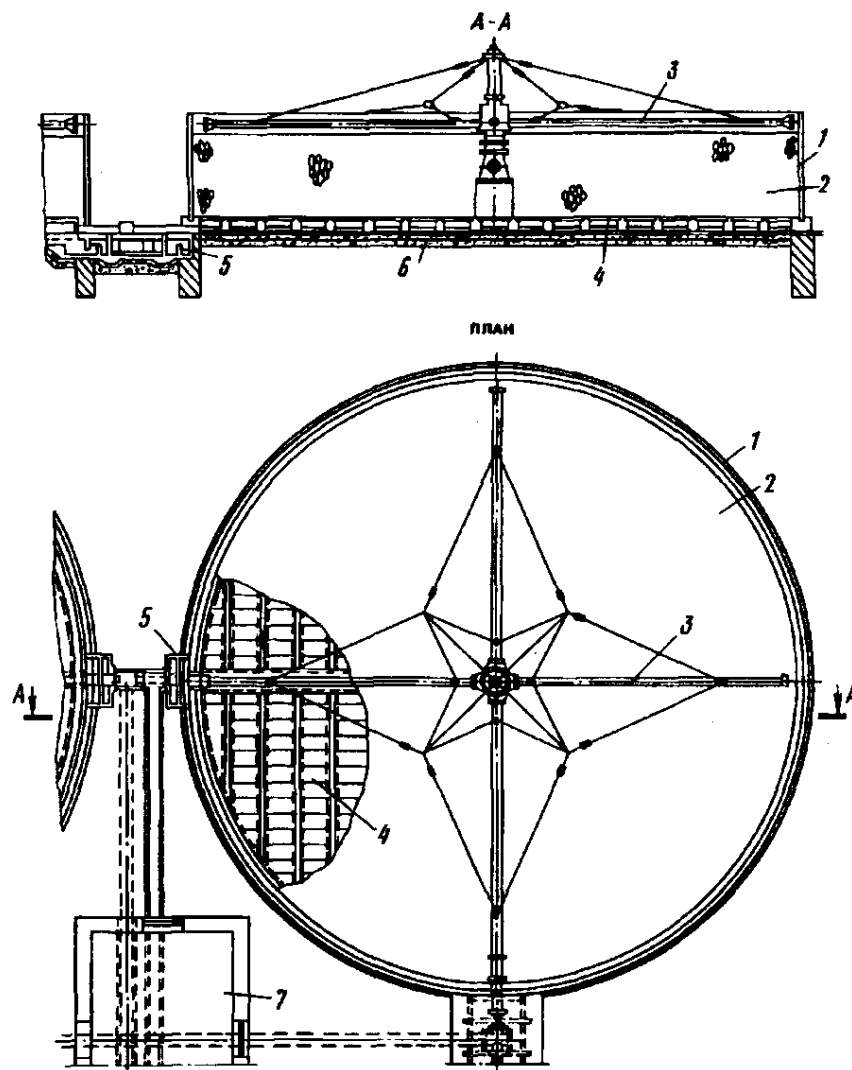


Рис. 1.3. Високонавантажувальний біофільтр : 1 – корпус; 2 - завантаження; 3 – реактивний зрошувач; 4 – дренажна решітка; 5 – гідравлічний затвор; 6 – суцільне днище; 7 - вентиляційна камера.

Вплив зовнішніх факторів на мікроорганізми в процесах біологічного очищення вод.

Ефективність процесів біологічного очищення вод залежить від багатьох чинників, більшість із яких піддається зміні та регулюванню в широких діапазонах. До основних чинників, що визначають ефективність робочих режимів і ступінь очищення стічних вод, крім гідродинамічних, належать: температура, активна реакція середовища, біогенні елементи, рівень живлення, кисневий режим, токсичні речовини, освітлення.

Вплив променевої енергії. Впливу світла постійно зазнають усі організми, що населяють земну поверхню. Для фототрофних організмів, що містять у клітинах пігмент на кшталт хлорофілу, світло є необхідною умовою живлення і життя. Використовуючи енергію сонячних променів у процесі асиміляції, фототрофні мікроорганізми будують з їжі речовини власної природи. Ненормально розвиваються в темряві плісняви: вони дають добре розвинений міцелій, але зовсім не утворюють спор.

Дослідженнями встановлено, що деякі види випромінювань чинять на мікроорганізми стерилізуючу дію. Цими формами променевої енергії є: сонячне світло, ультрафіолетові промені, промені Рентгена, радіоактивні випромінювання, ультракороткі радіохвилі. Ефективність впливу різних променів залежить від дози опромінення. Крім того, вельми істотну роль відіграє при цьому і довжина хвилі, проникність середовища, інтенсивність і тривалість опромінення. Малі дози опромінення можуть навіть активувати окремі життєві функції мікробних клітин (наприклад, ріст клітини, обмін речовин). Високі ж дози опромінення, як правило, діють летально.

Безбарвні сапрофіти енергії сонячних променів не потребують, навпаки, світло чинить на них шкідливий вплив, який пригнічує їхній розвиток.

Наочно демонструє летальну дію сонячних променів на мікроби дослід В. І. Палладіна. Живильне середовище в чашках Петрі він засівав сибіровиразковими бацилами, потім деякий час піддавав чашки дії прямого сонячного світла з подальшим поміщенням їх у термостат для вирощування. У тих чашках, які піддавалися лише короткочасній дії сонця, спостерігався рясний

ріст колоній. Але що довше перебували чашки Петрі під впливом сонячних променів, то дедалі більше слабшав ріст мікробів. Основна маса їх загинула за 10-20 хв опромінення. Після 70-хвилинної витримки на сонячному світлі в чашках не виросло жодної колонії.

З іншого боку, світло є головним чинником росту і розвитку рослин, енергією, яка необхідна для розвитку водоростей. Рослина зі світла та вуглецю виробляє нові клітини, речовини типу хлорофілу. Під його впливом відбувається фотосинтез - процес розкладання води і вуглекислого газу з подальшою побудовою з водню, вуглецю і кисню всіляких видів органічних сполук.

Велике значення має сонячне світло для самоочищення річок. У прозору воду сонячні промені проникають на глибину до 2 м, їхня проникаюча здатність різко знижується за наявності суспензій у воді. У сильно забруднену воду світлові промені можуть проникнути лише на глибину до 0,5 м. У ґрунті дія світла також позначається тільки в поверхневому шарі - на глибині 2-3 мм.

Таким чином, важливим напрямком досліджень є вибір енергоощадних джерел освітлення та розробка технічних рішень щодо освітлення біомаси в умовах підвищених концентрацій біомаси: в аеротенках із плаваючою та прикріпленою біомасою, а також у біофільтрах. Оскільки біомаса в аеробних реакторах являє собою альгобактеріальне симбіотичне співтовариство мікроорганізмів і водоростей, то актуальним є проаналізувати поведінкові реакції водоростей стосовно процесу очищення вод рибницьких господарств.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРАЦІЇ

Метою досліджень є розробка енергоощадних технологій і технічних рішень щодо підвищення ефективності та екологічної безпеки очищення стічних вод рибницьких підприємств, а також розробка методики розрахунку та підбору елементів установки на модельному середовищі рідини та реальній стічній рідині з використанням мікроводоростей хлорели.

Фотосинтез – процес утворення органічних речовин із води та вуглекислоти, під дією сонячних променів. Для фотосинтезу хлорели, культивованої у водному середовищі, необхідні мінерали та діоксид вуглецю.

Освітленість - зовнішній фактор, що має найбільший вплив на фотосинтез хлорели. У природних умовах мікроводорості розвиваються відкритим способом - у водоймах під дією сонячного світла. У середніх широтах близько половини року відсутнє сонячне світло, що впливає на окислювальні властивості мікроводоростей. Одним із найперспективніших напрямів є використання культиваторів закритого типу з використанням штучного освітлення.

В автономних системах, що знаходяться на відстані від централізованого електропостачання, затребуване використання сонячної енергії як основного джерела електричної енергії, так і резервного. Фотоелектроенергетика реалізує спосіб перетворення сонячної енергії в електричну за допомогою фотоелектричних модулів - невеликих напівпровідникових пристроїв. Вони мають широке поширення у світі, і використовуються головним чином у Японії, Німеччині та США.

Сонячна панель - це набір сонячних модулів, з'єднаних один з одним. Правильне використання сонячних панелей для отримання електроенергії має низку переваг:

- відсутність палива;

- безперервна робота;
- безшумність;
- тривалий термін безаварійної служби;
- надійність;
- загальнодоступність;
- можливість довільної зміни потужності системи.

Досить висока вартість сонячних панелей, і, як наслідок, триваліша окупність, висуває вимоги до енергоспоживання - використання техніки з високим класом енергозбереження, світлодіодних елементів освітлення, автоматики тощо.

Ефективність роботи сонячних батарей залежить від кількості сонячного світла, тобто встановлення в затінених місцях не має сенсу. У регіонах із високою сезонною хмарністю або туманами слід дослідити інтенсивність сонячного світла і провести розрахунок вироблюваної кількості енергії сонячними панелями для оцінки рентабельності та конкурентоспроможності.

Монокристалічний кремній

Найефективнішими є монокристалічні кремнієві елементи (рис. 2.1). У виготовленні модулів застосовується очищений кремній, який плавиться, кристалізується і нарізається на тонкі пластини, крізь які проходить сітка з металевих електродів. Панелі з модулями з монокристалічного кремнію є найнадійнішими джерелами електроенергії від сонця, ефективність яких за прямого сонячного світла становить 16-19% за температури навколишнього повітря +25°C.

Як правило, термін служби сонячних панелей становить 20-25 років, протягом якого щорічно падає вироблювана потужність на 0,5% на рік. Дорогі сонячні панелі мають більш тривалий термін служби - до 50 років. На сьогодні панелей, термін служби яких становить понад 50 років, немає, і тому їхній максимальний термін служби практично не встановлено.

Полікристалічний кремній

Технологія виробництва модулів з полікристалічного кремнію відрізняється від монокристалічних елементів у використанні менш чистого і, як наслідок, менш дорогого кремнію. Зовнішній вигляд полікристалічного кремнію вирізняється візерунками з безлічі кристалів (рис. 2.2). Ефективність модулів становить від 14 до 15%. Вартість панелей пропорційно менша за вартість аналогів з монокристалічними модулями.



Рис. 2.1. Сонячна батарея з модулями з монокристалічного кремнію.

В Україні перспективніше все ж таки використовувати монокристалічні панелі, оскільки за нерозвиненості власного виробництва і великих відстаней доцільніше ввозити і транспортувати ефективніші панелі.

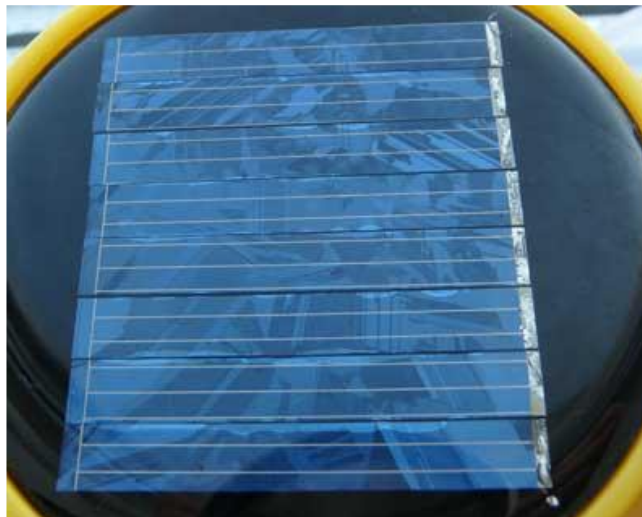


Рис. 2.2. Полікристалічний кремній

Дослідження процесу культивування мікроводоростей хлорела вимагає врахування впливу зовнішніх чинників (температура довкілля, освітлення тощо) і зміни в роботі культиватора.

Для визначення ступеня їхнього впливу, потрібно провести низку замірів:

- ступінь освітленості культивованого середовища;
- окислювально-відновний потенціал (R_x контролер);
- вміст розчиненого кисню і температури середовища (портативний аналізатор розчиненого кисню MAPK-302E);
- загальної мінералізації (TDS-метр TDS-3);
- оптичної щільності досліджуваного середовища (HACHCOMPANYBOX389 DR/2400 Portable Spectrometer).

Було виготовлено і виведено на робочий режим модель культиватора хлорели з освітлювально-аераційною установкою (рис. 2.3). Як ємність культиватора було використано трубу, виконану з прозорого полімеру, із заглушкою знизу. У резервуарах циліндричної форми спостерігається найбільш рівномірний розподіл випромінювання світла. Наприклад, у резервуарах прямокутної форми, в місцях стиків граней резервуара з'являються втрати випромінювання і можливе скупчування та налипання суспензії хлорели, її продуктів життєдіяльності тощо.

Для отримання вуглекислоти на потреби харчування хлорели в культивоване середовище вводиться необхідна кількість поживної органічної речовини - сахарози (цукру). Отриманий у процесі фотосинтезу кисень витрачається на окислення глюкози до кінцевих продуктів (вода + вуглекислота). Таким чином у культиваторі можливо створюються необхідні умови для життєдіяльності хлорели.

Метою даного етапу дослідження було визначення технологічних параметрів культивування хлорели в умовах штучного освітлення на модельній рідині.

Дослідження освітленості освітлювально-аераційною установкою

Експеримент 1.

Згідно з паспортними даними 1 метр світлодіодної стрічки (60 елементів) має випромінювання 800 Лм, тобто 1 світлодіод випромінює 13,3 Лм. Визначимо

освітленість поверхні на відстані від світлодіода на відстані 10, 15 і 25 см, які планується використовувати в промислових умовах експлуатації.

При $h=10\text{см.}$,

$$E = \frac{13.3}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 141,47\text{Лк.}$$

При $h=15\text{см.}$,

$$E = \frac{13.3}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 62,72\text{Лк.}$$

При $h=25\text{см.}$,

$$E = \frac{13.3}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 22,58\text{Лк.}$$



Рис. 2.3. Лабораторна модель культиватора хлорели з освітлювально-аераційною установкою.

Для перевірки методики розрахунку було проведено заміри освітленості цифровим люксометром AR813A (рис. 2.4), що пройшов повірку вимірювань.

Результати замірів люксометром:

при $h=10\text{ см, } E=100\text{ Лк;}$

при $h=15\text{ см, } E=51\text{ Лк;}$

при $h=25\text{ см, } E=20\text{ Лк.}$



Рис. 2.4. Цифровий люксметр AR813A.

Експеримент 2.

Для 2 світлодіодів:

При $h=10\text{см.}$,

$$E = \frac{26,6}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 282,2\text{Лк};$$

При $h=15\text{см.}$,

$$E = \frac{26,6}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 125,4\text{Лк};$$

При $h=25\text{см.}$,

$$E = \frac{26,6}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 45,2\text{Лк.}$$

Результати замірів люксметром:

при $h=10\text{ см}$, $E=200\text{ Лк}$;

при $h=15\text{ см}$, $E=100\text{ Лк}$;

при $h=25\text{ см}$, $E=42\text{ Лк}$.

Експеримент 3.

Для 3 світлодіодів:

При $h=10\text{см.}$,

$$E = \frac{39,9}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 423,4\text{Лк};$$

При $h=15\text{см.}$,

$$E = \frac{39,9}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 188,16 \text{Лк};$$

При h=25см.,

$$E = \frac{39,9}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 67,74 \text{Лк}.$$

Результати замірів люксметром:

при h=10см, E=330Лк;

при h=15см, E=162Лк;

при h=25см, E=62Лк.

Експеримент 4.

Для 4 світлодіодів:

При h=10см.,

$$E = \frac{53,2}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 564,5 \text{Лк};$$

При h=15см.,

$$E = \frac{53,2}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 250,9 \text{Лк};$$

При h=25см.,

$$E = \frac{53,2}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 90,3 \text{Лк}.$$

Результати замірів люксметром:

при h=10 см, E=450 Лк;

при h=15 см, E=220 Лк;

при h=25 см, E=83 Лк.

Експеримент 5.

Для 8 світлодіодів:

При h=10см.,

$$E = \frac{106,4}{3.14159 * 0.1^2 * tg^2(120/2)} = 1128,9 \text{Лк};$$

При h=15см.,

$$E = \frac{106,4}{3.14159 * 0.15^2 * tg^2(120/2)} = 501,8 \text{Лк};$$

При $h=25\text{см.}$,

$$E = \frac{106,4}{3.14159 * 0.25^2 * tg^2(120/2)} = 180,6 \text{Лк}.$$

Результати замірів люксометром:

при $h=10\text{ см}$, $E=648\text{ Лк}$; при $h=15\text{ см}$, $E=360\text{ Лк}$; при $h=25\text{ см}$, $E=150\text{ Лк}$.

На підставі проведених дослідів побудовано графіки похибок вимірювання, рис. 2.5-2.7.

На підставі отриманих результатів похибки вимірювань випромінювання світлодіодних елементів за допомогою люксометра AR813A можна дійти висновку, що виміри світлового випромінювання в межах похибки приладу відповідають вимірам на відстані 15...25 см від джерел освітлення із сумарним світловим потоком 25...65 Лм.

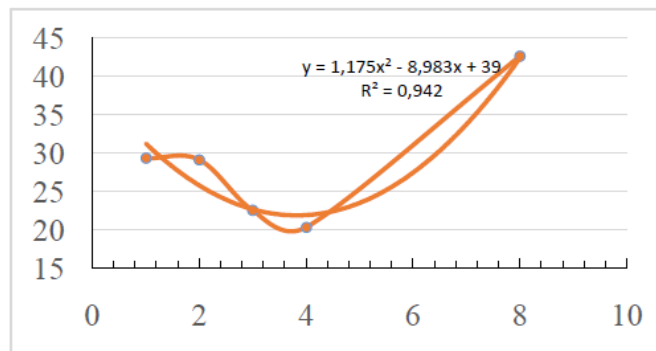


Рис. 2.5. Похибка вимірювання освітленості (%) залежно від кількості світлодіодних елементів (шт.), за умови $h=10\text{см}$.

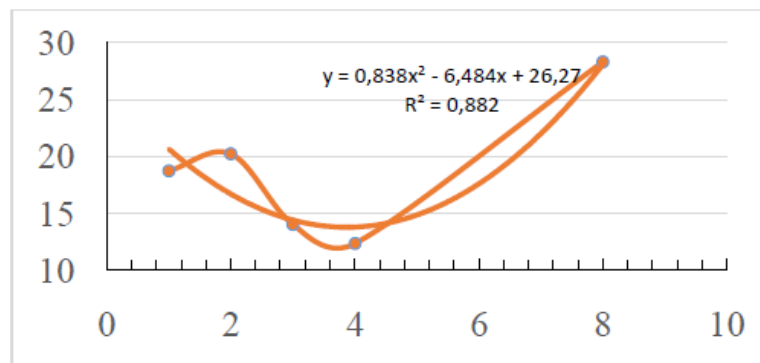


Рис. 2.6. Похибка вимірювання освітленості (%) залежно від кількості світлодіодних елементів (шт.), за умови $h=15\text{ см}$.

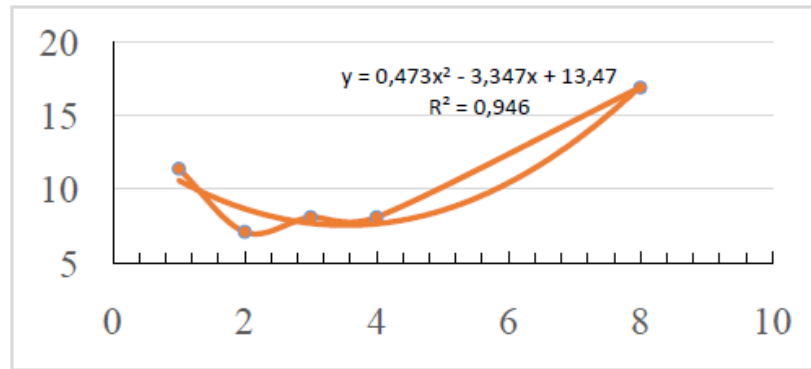


Рис. 2.7. Похибка вимірювання освітленості (%) залежно від кількості світлодіодних елементів (шт.), за умови $h=25$ см.

Для визначення інтенсивності випромінювання освітлювально-аераційної установки в досліджуваному середовищі слід враховувати каламутність середовища. Зв'язок коефіцієнта пропускання середовища з його оптичною щільністю визначено формулою (рис. 2.8):

$$\tau = 10^{-D}, \quad (2.1)$$

де D - оптична густина досліджуваного середовища, тобто концентрація, що визначається дослідним шляхом, яка вимірюється в белах (Б);

τ - коефіцієнт пропускання.

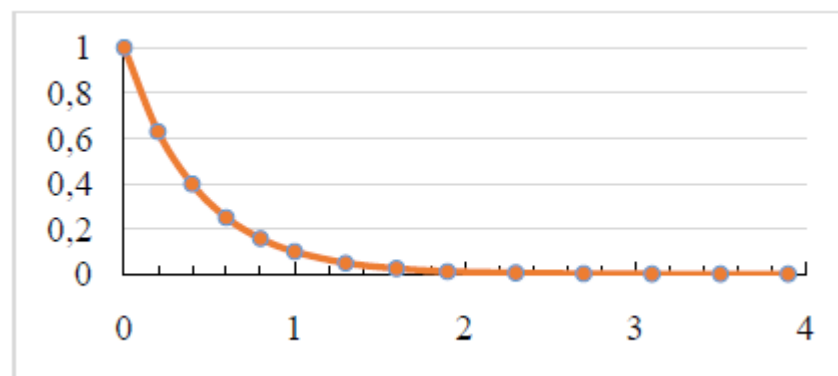


Рис. 2.8. Зв'язок коефіцієнта пропускання досліджуваного середовища з його оптичною густиною.

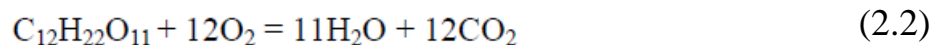
Таким чином, знаючи характеристики світлодіодних елементів, а також з огляду на оптичну щільність і коефіцієнт пропускання культивованого середовища, можливо визначити інтенсивність освітленості на різній віддаленості від джерела освітлення, і, відповідно, підібрати необхідну кількість

освітлювальньо-аераційних пристроїв. Якщо характеристики світлодіодних елементів невідомі, то інтенсивність освітленості можна визначити приладом люксометром, з урахуванням похибки його вимірювань, на відстані 15-25 см, за світлового потоку світлодіодів у діапазоні 25-65 Лм.

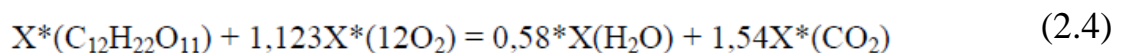
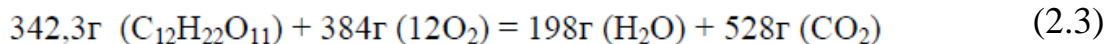
Дослідження роботи освітлювальньо-аераційної установки.

Об 11 год. 40 хв. 20.07.2023 р. у культиватор було залито водопровідну воду в об'ємі 10 л., суспензію хлорели *Chlorella vulgaris* в об'ємі 0,015 л, а також 10 г цукру. Далі, в ємність було занурено освітлювальньо-аераційну установку, під'єднану до джерела живлення 12В і двох повітряних компресорів "Barbus" потужністю 2,5 Вата та продуктивністю 3 л/хв кожний, для потреб аерації культиватора та охолодження світлодіодів.

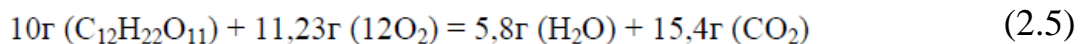
Процес реакції окислення сахарози з виділенням вуглекислоти можна описати рівнянням:



Молярна маса Мм: сахарози $C_{12}H_{22}O_{11} = 342,3$ г, кисню $O_2 = 32$ г, води $H_2O = 18$ г, вуглекислого газу $CO_2 = 44$ г/моль.



Введено ($C_{12}H_{22}O_{11}$) у культиватор у кількості 10г, з чого впливає:



Перевірку теоретичних кінетичних співвідношень (2.6 - 2.8) проводили на модельній рідині під час культивування хлорели за умов освітлення освітлювальньо-аераційною установкою. Контрольним був культиватор з однаковими початковими умовами експерименту, але з природною освітленістю.

Посів суспензії водорості хлорела в культиватор проводили з початковою оптичною густиною $0,010 \pm 0,002$, рис. 2.9. Для цього в 100 ± 5 см³ 50 % поживного середовища вносили $5 \pm 0,5$ см³ суспензії водорості з оптичною густиною

0,200±0,010, профільованої через 3-4 шари марлі або вати. Графік (рис. 2.9) відповідає кривій росту періодичної культури мікроорганізмів (рис. 2.10) - лаг-фаза, фази експоненціального росту і відмирання. Через нестачу живлення або накопичення продуктів життєдіяльності, спостерігається зміна фізіологічного стану клітин, зростає концентрація мікроорганізмів і сповільнюється їхній ріст.

За оптичної щільності суспензії хлорели 0.200, її концентрація становить 0,2 г/л. Нами взято 0,015 л суспензії, що становить 0,003 г. хлорели. Таким чином, при введенні суспензії хлорели в культиватор з 10 літрами водопровідної води, її концентрація склала 0,0003 г/л. Після додавання живлення, оптична щільність культивованого середовища D склала 0,002.

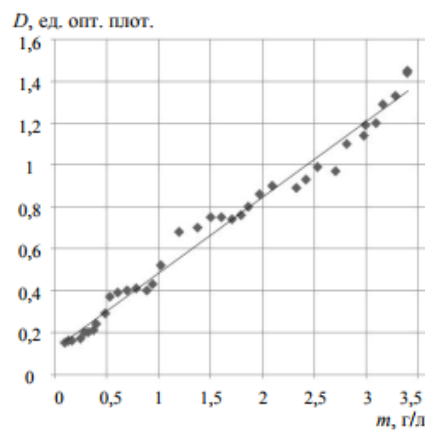


Рис. 2.9. Залежність оптичної щільності D культивованої хлорели від її масової частки.

Дослідження роботи культиватора хлорели проводилися в період з 20.07.2023 р. по 13.08.2023 р. Культивоване середовище мало такі вихідні параметри:

- окисно-відновний потенціал, $R_x = 350$ мВ;
- вміст кисню, $O_2 = 1,935$ мг/дм³;
- температура середовища, $t_{\text{temp}} = 24,2$ С°;
- загальна мінералізація, TDS = 640 мг/л;
- оптична щільність = 0,002.

Під час дослідження аерація культивованого середовища була постійною з продуктивністю 3 л/хв. На культивоване середовище впливали зовнішні чинники

- природне сонячне світло через віконні прорізи приміщення і температура навколишнього середовища. Освітлення освітлювально-аераційною установкою періодично нами вимикалося або змінювався спектр світла для визначення його впливу на культивоване середовище - синій, червоний, синьо-червоний. Нижче наведено таблицю 2.1 з результатами дослідження в період з 20.07.2023 р. по 13.08.2023 р., на підставі яких побудовано графіки (рис. 2.11 – 2.24).

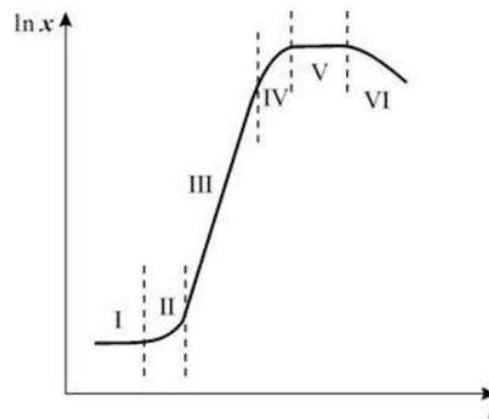


Рис. 2.10. Крива росту мікроорганізмів у разі періодичного культивування, де I – лаг-фаза; II – фаза прискореного росту; III – фаза експоненціального росту; IV – фаза уповільненого росту; V – фаза стаціонарна; VI – фаза відмирання культури.

Таблиця 2.1 – Параметри режимів культивування хлорели в період з 20.07.2023 р. по 13.08.2023 р.

Дата	Час	Освітлення	Rx, мВ	O ₂ , Мг/дм ³	Т _{емп.} , С°	TDS, ррm	Опт.щільність D				Коеф. пропускання середовища, τ	Освітленість, кЛк
							1	2	3	Сер. знач		
20.07.2023	11:40	Без світлодіодів (з аерацією)	370	2,05	24,0	641	0,002	0,002	0,002	0,002	0,995	220,8
	12:00		365	2,01	24,0	69	0,000	0,000	0,000	0,000	1,001	222,8
	12:30		360	1,98	24,1	638	0,000	0,000	0,000	0,000	1,001	222,8
	13:00		350	1,94	24,2	642	0,000	0,000	0,000	0,000	1,001	222,8
	13:30		320	1,85	24,3	640	0,000	0,000	0,000	0,000	1,001	222,8
	14:00		305	1,92	24,4	642	0,001	0,001	0,001	0,001	0,999	222,2
	14:30		297	1,97	24,4	641	0,001	0,001	0,001	0,001	0,998	222,2
	15:00		280	2,06	24,5	645	0,001	0,001	0,001	0,001	0,998	211,2
	15:30		270	2,19	24,6	641	0,001	0,001	0,000	0,000	1,002	212,2
	16:00		270	2,27	24,7	647	0,001	0,000	0,000	0,000	0,999	211,5
	16:30	(аерація)	250	2,33	25,0	642	0,000	0,001	0,000	0,000	0,999	211,5

	17:00		240	2,39	25,3	640	0,025	0,025	0,025	0,025	0,944	199,8
	17:30		230	2,42	25,6	638	0,049	0,050	0,050	0,050	0,892	188,8
	18:00		240	2,48	25,7	644	0,010	0,011	0,011	0,011	0,976	206,5
	18:30		240	2,53	25,9	642	0,027	0,026	0,026	0,026	0,941	199,2
	Сер.знач за день		292	2,159	24,7	638	0,008	0,008	0,008	0,008	0,982	207,9
21.07.2023	12:30		280	1,98	24,2	632	0,021	0,021	0,021	0,021	0,953	201,8
	13:00		250	2,05	24,5	638	0,037	0,032	0,032	0,034	0,925	195,9
	13:30	(аерація)	240	2,17	24,8	640	0,020	0,019	0,018	0,019	0,957	202,6
	14:00		230	2,29	25,2	641	0,040	0,039	0,039	0,039	0,913	193,3
	14:30		210	2,39	2,6	657	0,078	0,078	0,078	0,078	0,836	186,9
	15:00		190	2,52	26,0	626	0,063	0,063	0,063	0,063	0,865	183,1
	15:30	(аерація)	180	2,56	26,2	635	0,057	0,058	0,058	0,058	0,876	185,3
	16:00		170	2,63	26,5	635	0,045	0,044	0,044	0,045	0,903	191,1
	Сер.знач за день		219	2,320	22,5	638	0,045	0,044	0,044	0,045	0,903	191,1
22.07.2023	11:00	Без светодиодов (с аэрацией)	270	2,00	24,2	623	0,050	0,050	0,050	0,050	0,891	188,8
	11:30		250	2,12	24,3	625	0,021	0,021	0,022	0,021	0,952	201,5
	12:00		240	2,28	24,5	635	0,045	0,047	0,048	0,047	0,898	190,1
	12:30		200	2,35	24,8	647	0,096	0,096	0,097	0,096	0,801	169,6
	13:00		190	2,42	25,2	627	0,064	0,063	0,064	0,064	0,864	182,8
	13:30	(аерація)	180	2,26	25,9	630	0,075	0,074	0,078	0,076	0,840	188,8
	14:00		180	2,60	26,0	635	0,056	0,051	0,045	0,051	0,890	188,4
	Сер.знач за день		216	2,320	22,5	638	0,058	0,057	0,058	0,058	0,875	185,3
24.07.2023	12:30		180	1,79	28,9	626	0,063	0,063	0,062	0,063	0,866	183,2
	15:30	(аерація)	180	2,05	28,9	685	0,041	0,042	0,040	0,041	0,910	192,6
	16:00		140	2,18	28,9	690	0,045	0,045	0,046	0,045	0,901	190,8
	Сер.знач за день		167	2,320	22,5	638	0,050	0,050	0,049	0,050	0,892	188,8
		14:00 аммоній 0,542мг/л										
25.07.2023	10:30		100	1,97	28,4	690	0,024	0,025	0,025	0,025	0,945	200,0
	12:30	(аерація)	90	2,04	28,7	685	0,061	0,061	0,060	0,061	0,870	184,1
	Сер.знач за день		119	2,320	22,5	638	0,043	0,043	0,043	0,043	0,906	191,9
		11:00 аммоній 7,9мг/л										
30.07.2023	-	(аерація)	210	1,58	28,7	677	0,028	0,355	0,352	0,245	0,569	120,5
31.07.2023	-	(аерація)	210	1,58	28,7	677	0,275	0,355	0,352	0,327	0,471	99,6
01.08.2023	-	(аерація)	210	1,55	28,6	668	0,089	0,092	0,075	0,085	0,822	183,9
02.08.2023	-	(аерація)	200	1,58	28,9	696	0,088	0,095	0,111	0,098	0,798	168,9
03.08.2023	-	(аерація)	180	1,59	29,0	675	0,519	0,576	0,550	0,548	0,283	59,9
04.08.2023	-	(аерація)	190	1,58	29,0	680	0,137	0,140	0,141	0,139	0,726	153,6
07.08.2023	-	(аерація)	210	1,58	29,3	629	0,048	0,049	0,050	0,049	0,893	189,1
		Добавили глюкози 100мл										
08.08.2023	-	(аерація)	230	1,61	29,2	615	0,040	0,041	0,040	0,040	0,911	192,9
09.08.2023	-	(аерація)	70	1,70	29,5	666	0,109	0,128	0,120	0,119	0,760	160,9
11.08.2023	-	(аерація)	60	1,59	29,4	772	0,490	0,490	0,490	0,490	0,324	78,5
13.08.2023	-	(аерація)	150	1,74	35,1	1170	0,300	0,320	0,320	0,313	0,487	102,9

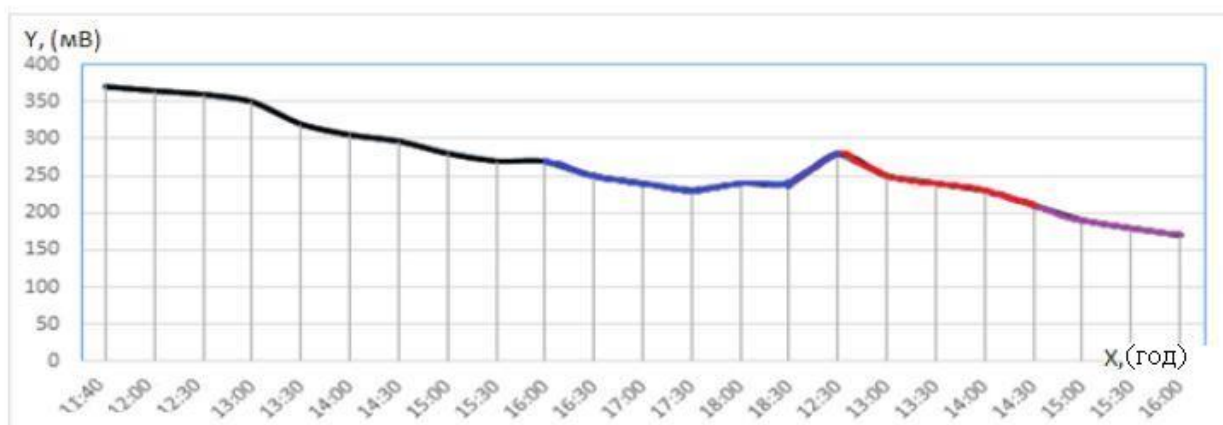


Рис. 2.11. Залежність окисно-відновного потенціалу (Rx) від часу культивування хлорели (20-21 липня 2023 р.)

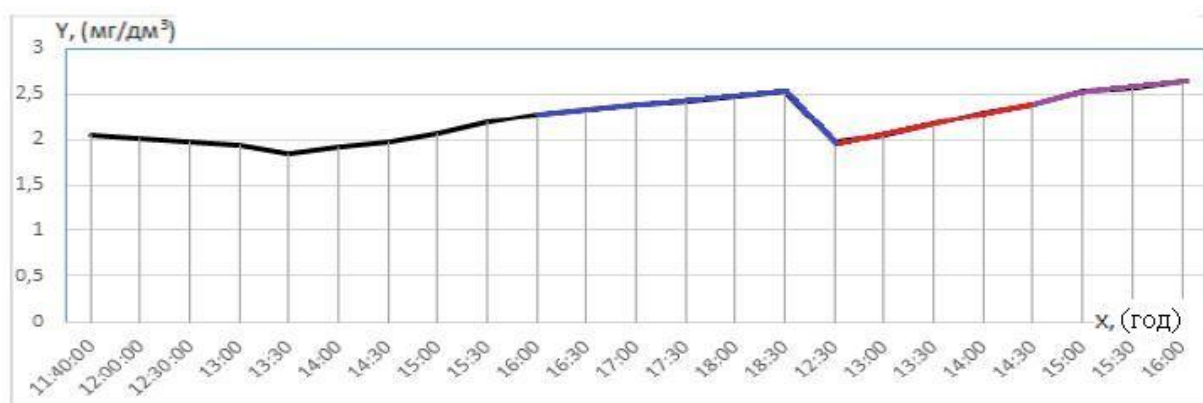


Рис. 2.12. Залежність вмісту кисню O₂ від часу культивування хлорели (20-21 липня 2023 р.)

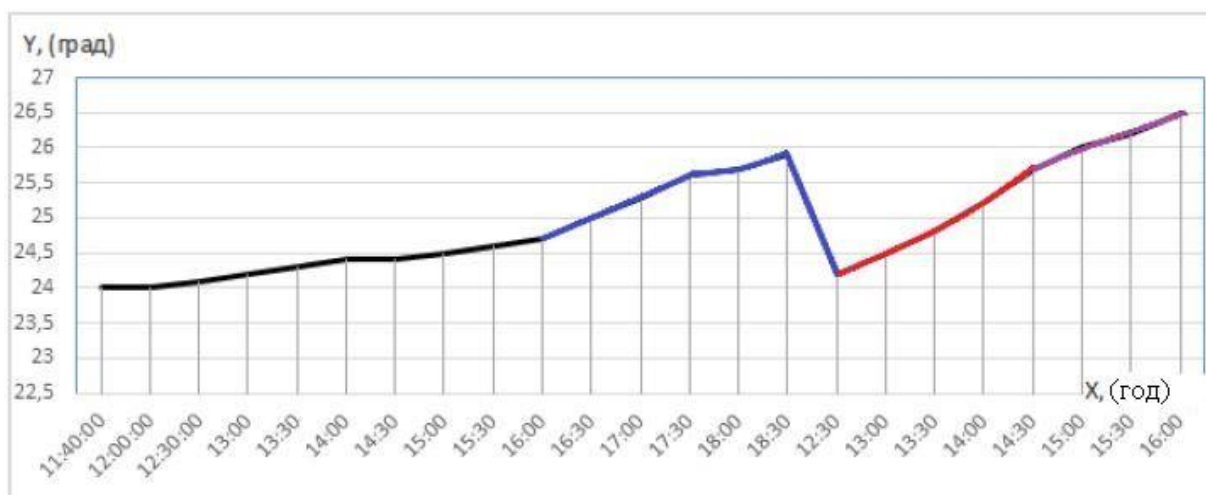


Рис. 2.13. Залежність температури середовища від часу культивування хлорели (20-21 липня 2023 р.)

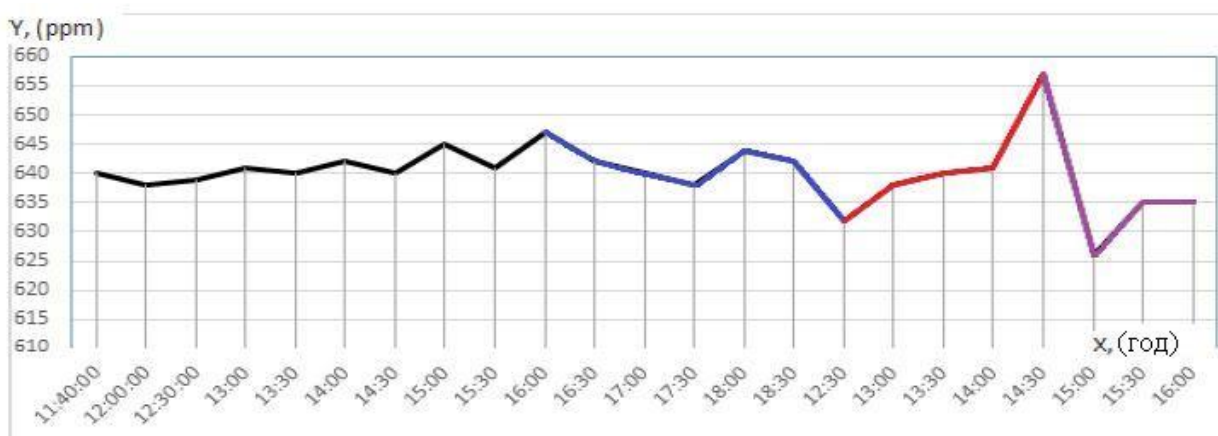


Рис. 2.14. Залежність солемісту (TDS) від часу культивування хлорели (20-21 липня 2023 р.)

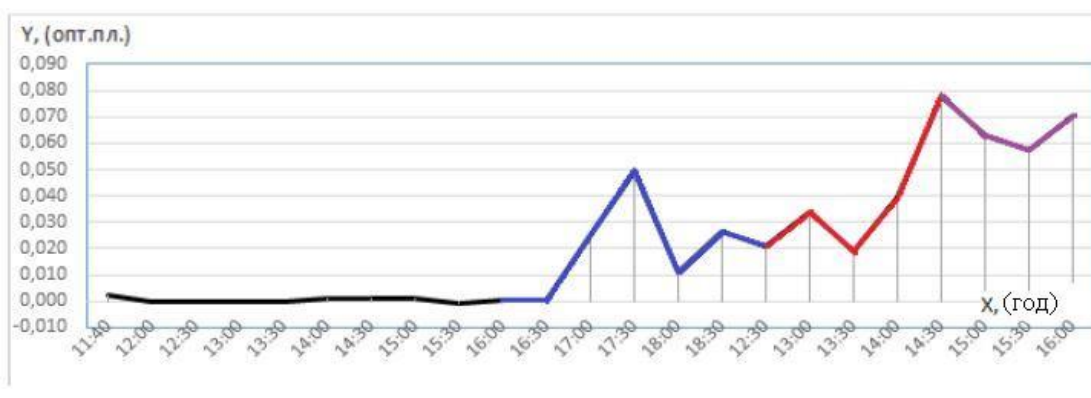


Рис. 2.15. Залежність (оптичної щільності) вмісту хлорели від часу культивування (20-21 липня 2023 р.)

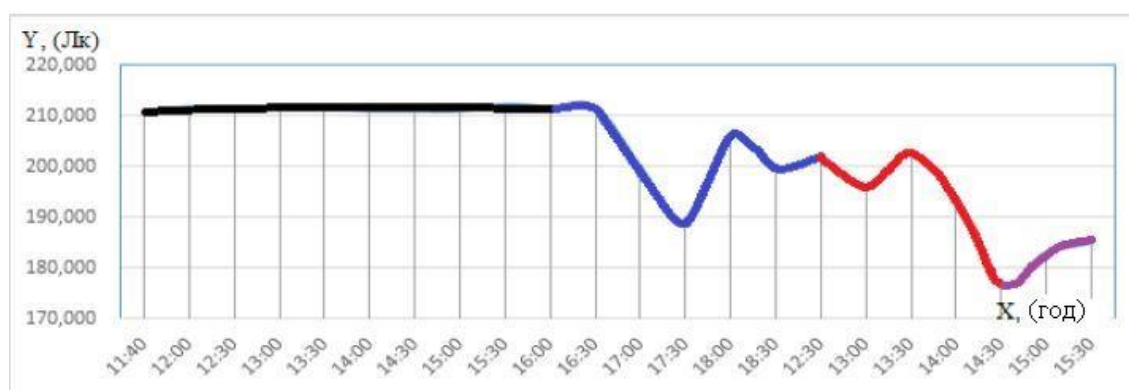


Рис. 2.16. Залежність освітленості культиватора від часу культивування хлорели (20-21 липня 2023 р.)

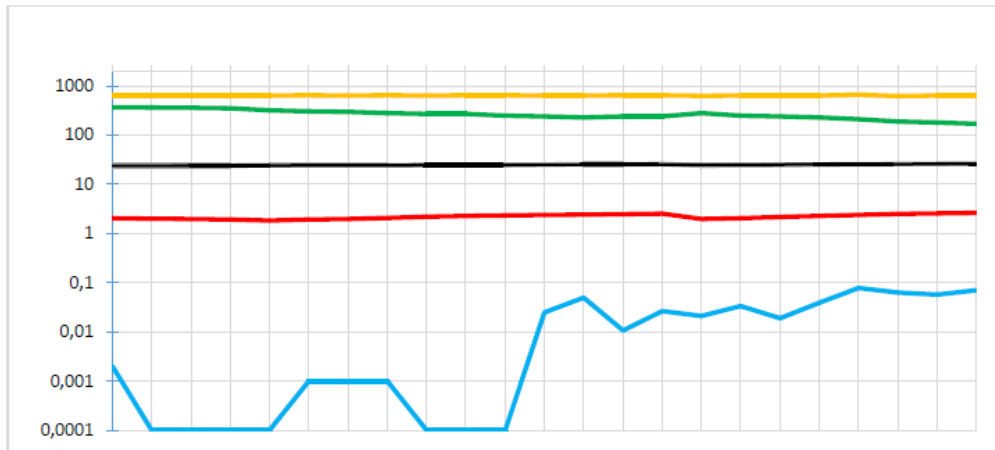


Рис. 2.17. Графік результатів дослідження культивування хлорели за період з 20.07.2023 р. по 21.07.2023 р.

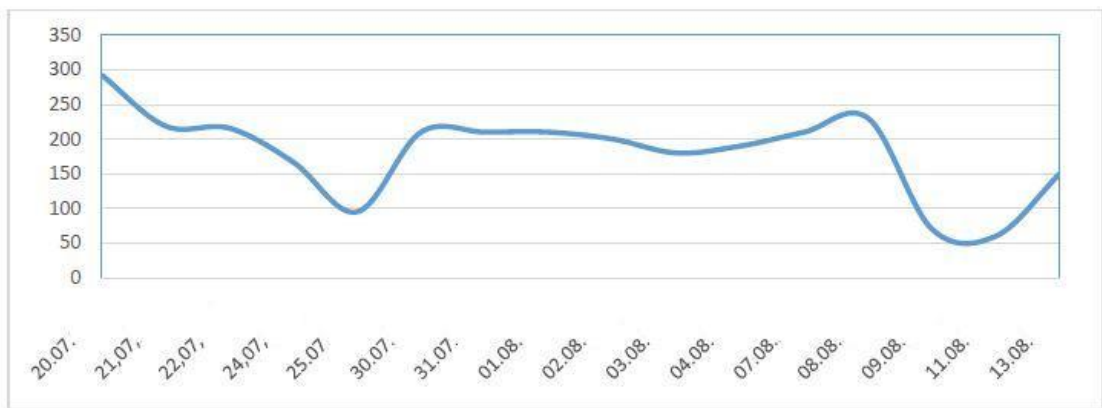


Рис. 2.18. Залежність окисно-відновного потенціалу (R_x) від часу культивування хлорели (20.07-13.08 2023 р.)

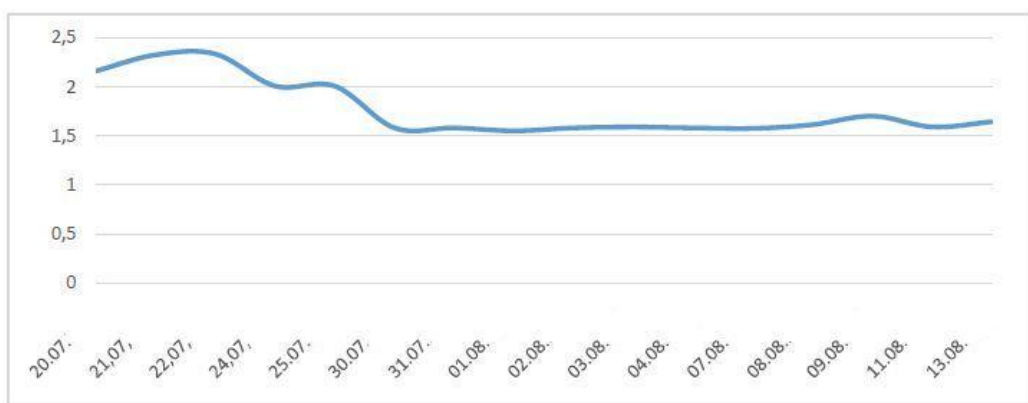


Рис. 2.19. Залежність вмісту кисню O_2 від часу культивування хлорели (20.07-13.08 2023 р.)

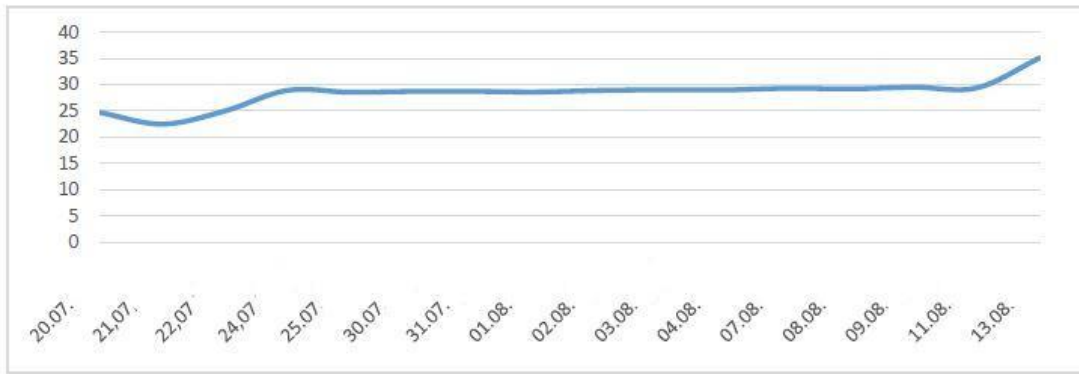


Рис. 2.20. Залежність температури середовища від часу культивування хлорели (20.07-13.08 2023 р.)

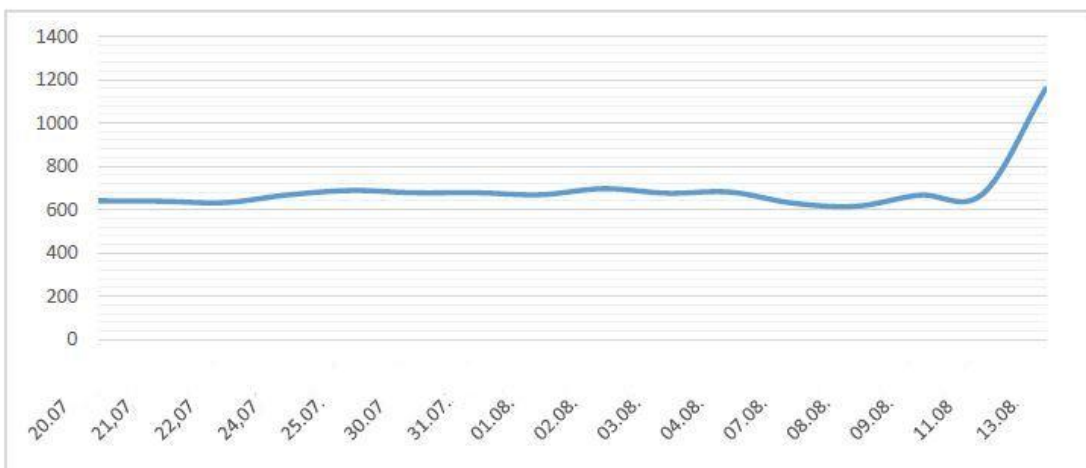


Рис. 2.21. Залежність солемісту (TDS) від часу культивування хлорели (20.07-13.08 2023 р.)

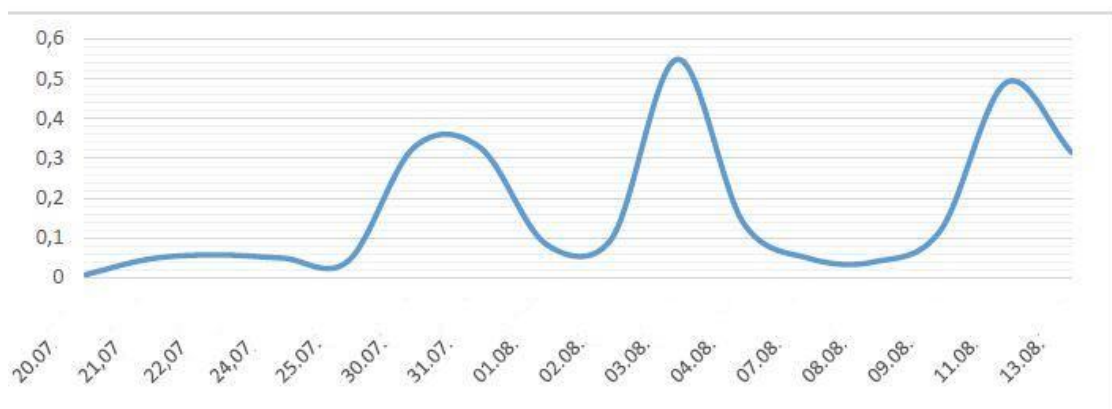


Рис. 2.22. Залежність оптичної густини від часу культивування хлорели (20.07-13.08 2023 р.)

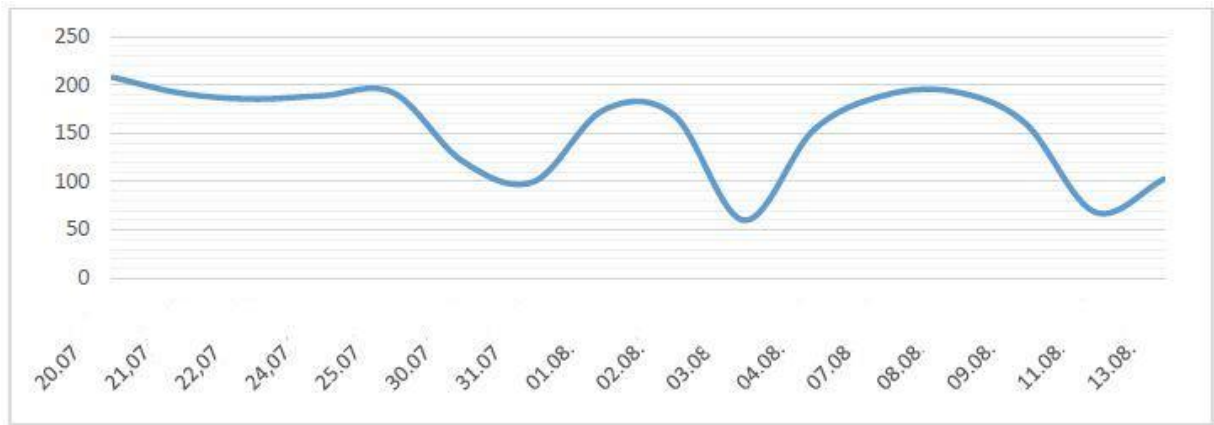


Рис. 2.23. Залежність освітленості культиватора від часу культивування хлорели (20.07-13.08 2023 р.)

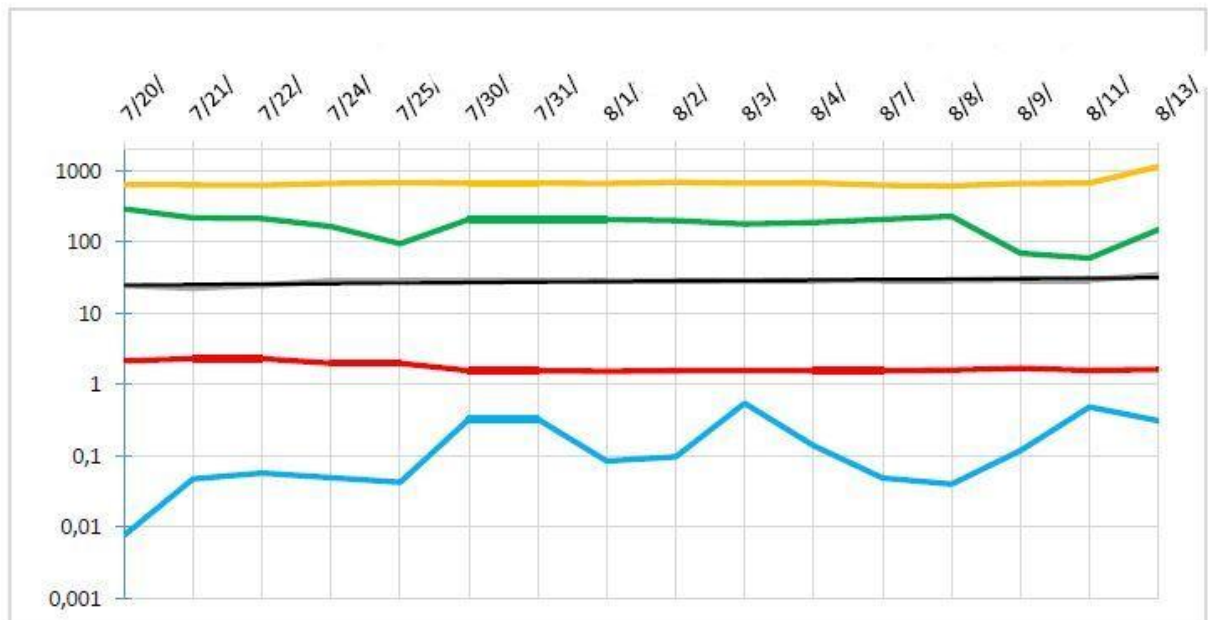


Рис. 2.24. Графік результатів дослідження культивування хлорели за період з 20.07.2023 р. по 13.08.2023 р.

На підставі аналізу графіків (рис. 2.11 - 2.24) впливає, що показник росту мікродоростей хлорела за період з 20.07.2023 р. до 13.08.2023 р. за графіком оптичної густини зріс у 391 раз. Зростання оптичної щільності спостерігалось 30.07.2023 р., 03.08.2023 р., а також в останній день досліджень 13.08.2023 р.

Провівши низку вимірів, було обчислено коефіцієнт детермінації (R) залежності результатів оптичної густини від спектра світла, для визначення достовірності отриманих даних, рис. 2.25. за рівнянням 2.6:

$$R^2 = 1 - \frac{v(y|x)}{v(y)} = 1 - \frac{\sigma^2}{\sigma^2_y} \quad (2.6)$$

Згідно з отриманими значеннями коефіцієнта детермінації раніше отриманих результатів, було встановлено, що:

- за природного освітлення коефіцієнт детермінації отриманих значень оптичної густини становив $R=0.93$, що свідчить про нелінійність розподілу світла;

- коефіцієнт детермінації R значень оптичної густини, отриманих за синього, червоного та синьо-червоного спектра світла, склав $0,999$, що є показником функціональної залежності між значеннями освітленості та оптичної густини.

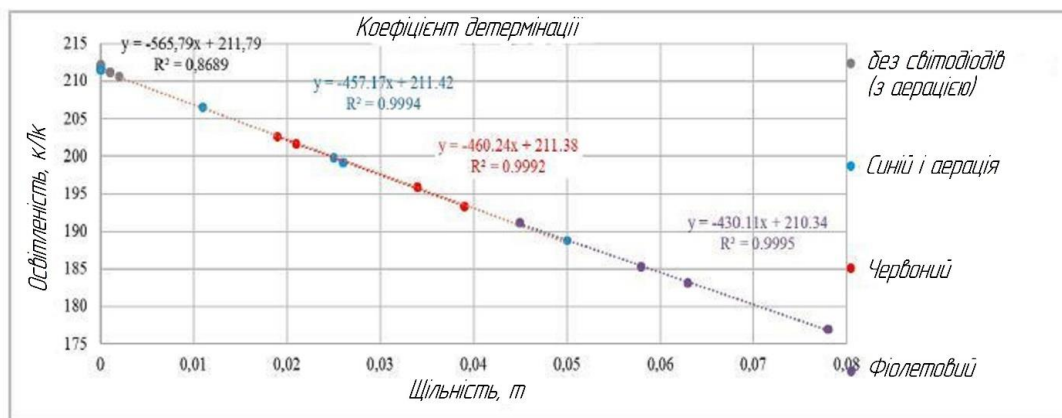


Рис. 2.25. Залежність щільності від освітленості

$$F_\phi = \frac{\sigma^2_{\text{велика}}}{\sigma^2_{\text{мала}}} \quad (2.7)$$

Таблиця 2.2 – Значення освітленості за різного спектра світла.

Без світлодіодов	Синій	Червоний	Фіолетовий
210,7	211,5	201,7	176,9
211,7	211,5	195,9	183,1
211,7	199,8	202,6	185,3
211,7	188,8	193,3	191,1
211,7	206,5		
211,2	199,2		
211,2			
211,2			
212,2			

З культиватора 18.08.2023 р. було взято проби під мікроскопування (рис. 2.26).

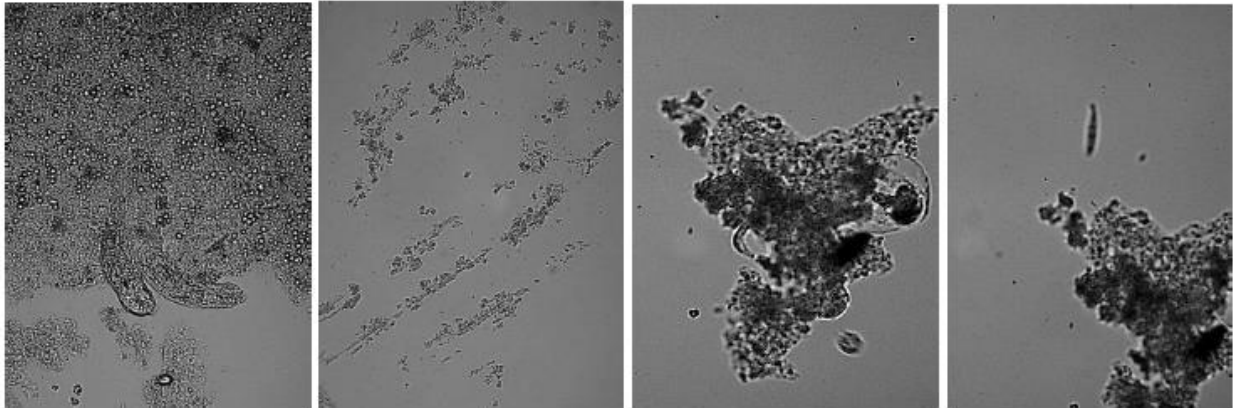


Рис. 2.26. Фото проб із культиватора хлорели під мікроскопом 18.08.2023 р.

Таблиця 2.3 – Порівняльний аналіз спектрів освітлення за критерієм Фішера.

Найменування	Без світлодіодів	Синій	Без світлодіодів	Червоний	Без світлодіодів	Фіолетовий
Mean	211,479	202,993	211,479	199,375	211,479	194,100
Variance	0,194	77,599	0,194	20,2725	0,194	34,427
Observations	9,000	7,000	9,000	4	9,000	4
Pooled Variance	29,590		5,779		9,531	
Hypothesized Mean Difference	0		0		0	
df	13,000		11,000		11,000	
t Stat	2,999		9,159		14,759	
P(T<=t) one-tail	0,005		0,000		0,000	
t Critical one-tail	2,747		2,920		2,920	
P(T<=t) two-tail	0,010273421	≥ a	0,00000177 7	≤ a	0,00000001 4	≤ a
t Critical two-tail	3,107		3,209		3,209	
	НЕМАЄ РІЗНИЦІ		Є РІЗНИЦЯ		Є РІЗНИЦЯ	
Найменування	Синій	Червоний	Синій	Фіолетовий	Червоний	Фіолетовий
Mean	202,993	199,375	202,993	194,100	199,375	194,100
Variance	76,599	20,262	76,599	34,427	20,262	34,427
Observations	6,000	4,000	6,000	4,000	4,000	4,000
Pooled Variance	55,472		60,794		27,345	

Hypothesized Mean Difference	0		0		0	
df	9,000		9,000		6,000	
t Stat	0,939		3,732		3,961	
P(T<=t) one-tail	0,199		0,003		0,004	
t Critical one-tail	3,016		3,016		3,297	
P(T<=t) two-tail	0,375919520	$\geq a$	0,005769064	$\leq a$	0,009316423	$\leq a$
t Critical two-tail	3,479		3,479		3,963	
Result	НЕМАЄ РІЗНИЦІ		Є РІЗНИЦЯ		Є РІЗНИЦЯ	

Висновки по розділу

Таким чином, згідно з порівняльним аналізом спектрів освітлення, використовуючи критерій Фішера, було встановлено, що синьо-червоний спектр світла має найбільший вплив на оптичну густину культивованого середовища. Згідно з отриманим результатом, у подальшому експерименті буде використовуватися освітлення з синьо-червоним спектром. Під час детального вивчення графіків можна помітити, що крім впливу освітленості, підвищення оптичної густини відбувалося поряд зі зміною окислювально-відновного потенціалу, а також із підвищенням температури. Зниження окисно-відновного потенціалу практично ніяк не впливало на приріст біомаси, а з його зростанням спостерігається істотне збільшення біомаси.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Провівши низку лабораторних експериментів на культиваторі хлорели й отримавши позитивний результат використання освітлювально-аераційної установки, було вирішено провести аналіз його ефективності роботи в промислових умовах експлуатації. Об'єктом дослідження стала приватна риборозплідна ферма, що розташована в Житомирській області і займається розведенням сомів (рис. 3.1).

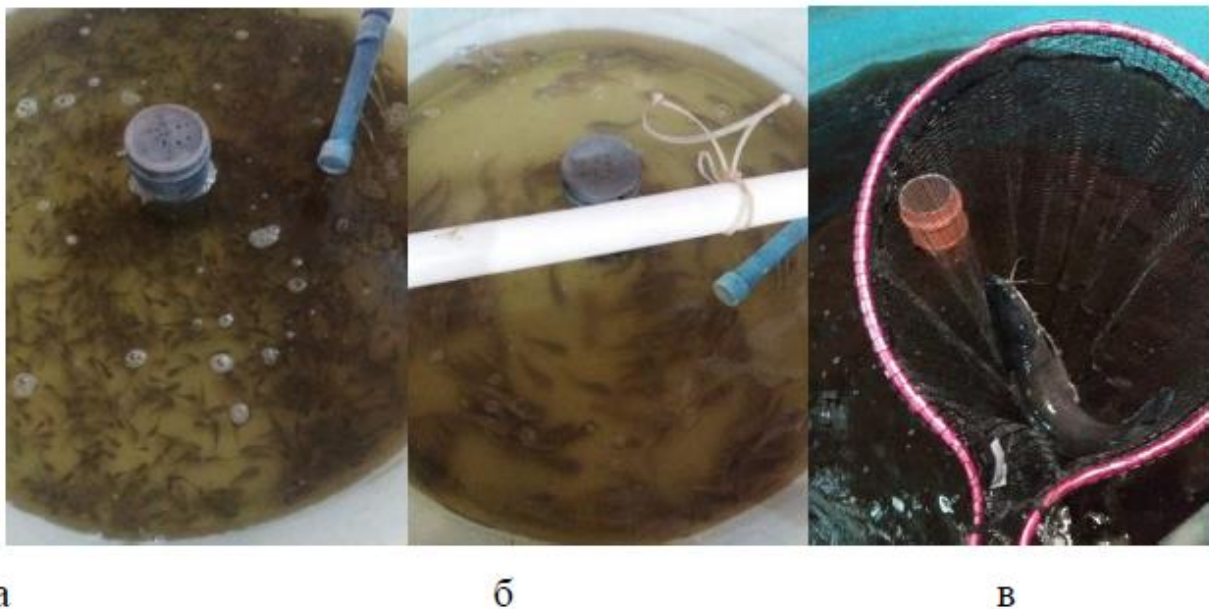


Рис. 3.1. Басейн із вирощуваною рибою: а – мальки; б – цьоголітки; в – великі особини.

Схема оборотних стічних вод риборозплідного підприємства працює за принципом установки замкненого водопостачання (УЗВ), і представлена на рис. 2. Включає схема очищення такі елементи: 1 – басейни для риби, 2 – механічний барабанний сітчастий фільтр, 3 – ємності біофільтра (а - зі статичним навантаженням, б – із плаваючим завантаженням), 4 – повітродувка, 5 – диспергатор, 6 – циркуляційний насос, 7 – теплообмінник, 8 – циркуляційний насос, 9 – вузол денітрифікації, 10 – відстійник із забірником активного мулу.

Система очищення вод працює так: з басейнів з рибою 1 стічні води потрапляють до механічного барабанного сітчастого фільтра 2, де затримуються тверді частинки і частина колоїдних речовин. Після фільтра механічного очищення 2 встановлені ємності 3а зі статичним завантаженням пластиковими "стільниками" і завантаженням на 80%, і 3б із плаваючим завантаженням (рис. 3.2), що виконують роль фільтра біологічного очищення. Площа сот становить 230м^2 . Виділення сомами розчиненого азоту становить $0,478\text{ кг/добу}$. Об'єм завантаження становить:

$$V_3 = (1000 \times R_n / \text{УПБ}) / S_v = 1000 * 0,478 / 1,4 / 230 = 1,5\text{м}^3 \quad (3.1)$$

де, S_v -площа поверхні завантаження на 1м^3 ;

УПБ - питома продуктивність біофільтра з окислення амонійного азоту, ($1,4\text{ г/м}^2$);

R_n - кількість азоту, що виділяється, (кг/добу).

Таким чином об'єм завантаження біофільтра близько $1,2\text{ м}^3$ при загальному об'ємі - $1,5\text{ м}^3$.

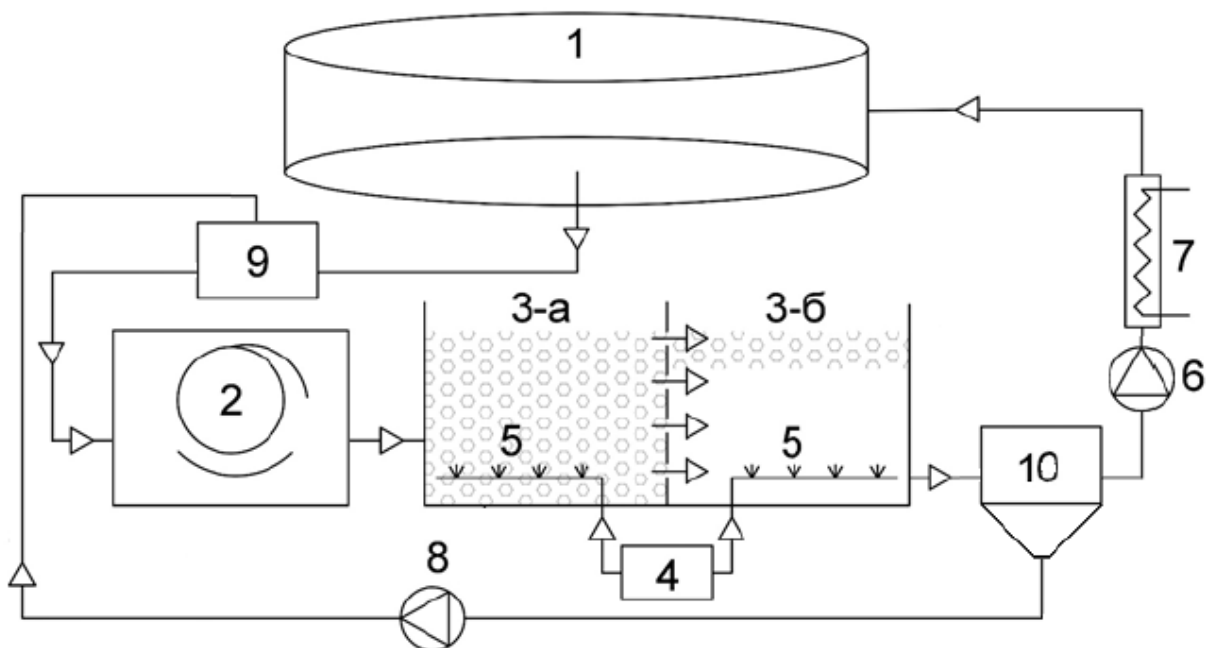


Рис. 3.2. Схема очищення оборотних стічних вод приватного риборозвідного підприємства

У фільтр біологічного очищення за допомогою повітродувки 4, через диспергатори 5, подається стиснене повітря для аерації альгобактеріальної суміші. Далі, очищені стічні води надходять у відстійник 10, де відбувається забір активного мулу в денітрифікатор 9. За допомогою циркуляційного насоса 6, стічні води з відстійника 10 слідує назад у басейн з рибою 1 через теплообмінник 7 для підтримки необхідної температури.

На риборозплідній фермі встановлено 4 басейни об'ємом по 4,5 м³. Обсяг циркуляційної води - 21 м³. Потужність риборозплідної ферми становить близько 700 кг риби на місяць.



Рис. 3.3. Носії біомаси біофільтра рибницької ферми

Наявна схема очищення оборотних вод на рибницькій фермі забезпечує зниження хімічного споживання кисню (ХСК) на 50%, а біологічного споживання кисню (БСК) на 5% (таблиця 3.1). Ефективність наявної схеми очищення оборотних стічних вод недостатня для інтенсивного риборозведення. Необхідна витрата води для підтримання сприятливих умов утримання сома становить 9 м³/год. Низька ефективність очищення зумовлена розвитком мікроорганізмів у скупчуваному активному мулі, а також біомаси на плаваючому завантаженні з недостатнім освітленням або його відсутністю. Подача повітря на аерацію є надлишковою, що сприяє підняттю активного мулу з dna біофільтра і його винесенню далі трубопроводами в басейн із рибою і, як наслідок, підвищеній каламутності води. Спостерігалася драгівливість у риб, її

низька активність, слабка інтенсивність харчування, і, як наслідок, повільний приріст маси риб.

У процесі експлуатації система біологічного очищення була доповнена вузлом денітрифікації - з біофільтра циркуляційним насосом 8 частина стічних вод надходила на вузол денітрифікації 9, після чого вона поверталася в систему перед механічним фільтром (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Вибіркові показники якості стічних вод на виході з басейну, після біофільтра і після денітрифікації.

			pH	XПК, мгО/л	O ₂ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	БПК, мгО ₂ /л	В.В., мг/л
1	Вихідна	На вході з басейну	7,0	860,0	5,4	0,420	0,87	158,0	9,1	80,0	99,5
2		Після біофільтра	7,3	430,0	5,6	0,050	0,15	142,0	8,7	76,0	58,5
3		з денітрифікацією	-	94,0	3,6	0,050	0,18	95,0	-	-	-

Згідно з результатами аналізу (таблиця 3.1) після введення в технологічну схему біологічного очищення оборотних вод вузла денітрифікації ХСК знизилася відносно вихідних концентрацій на 89%, нітрати - на 39,9%, що свідчить про ефективність проведених заходів.

Для підвищення ефективності біологічного очищення, а також зниження витрат на денітрифікацію, в біофільтр було інтегровано освітлювально-аераційну установку 8 (рис. 3.4), під'єднану до джерела живлення 12 Вольт і двох повітряних компресорів "Barbus" потужністю 2,5 Вата та продуктивністю 3 л/хв кожний, для аерації очищувальних стічних вод і охолодження світлодіодів (рис. 3.5, 3.6) [17].

Для аналізу ефективності роботи освітлювально-аераційної установки проведено розрахунок освітленості в біофільтрі. Оптична щільність стічних вод становила – після басейнів 0,02, а після біофільтра 0,011. Конструкція

освітлювально-аераційної установки містить 240 світлодіодних елементів із випромінюванням по 13,3 Лм/шт [17].

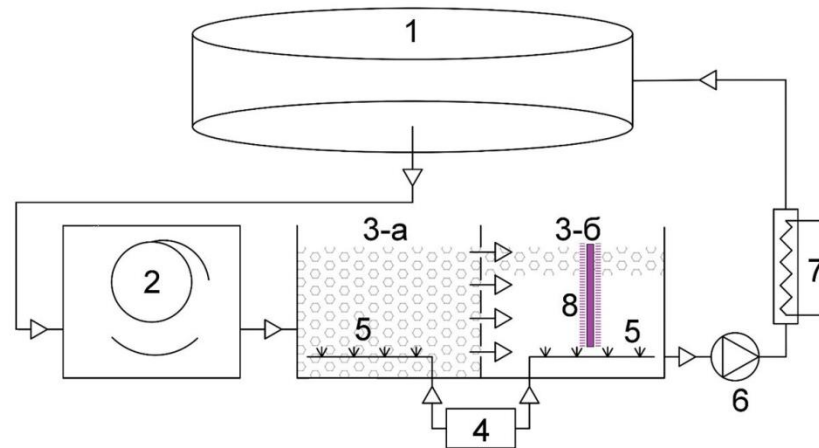


Рис. 3.4. Модернізована схема очищення оборотних стічних вод підприємства з розведення риби зі встановленою освітлювально-аераційною установкою [17].

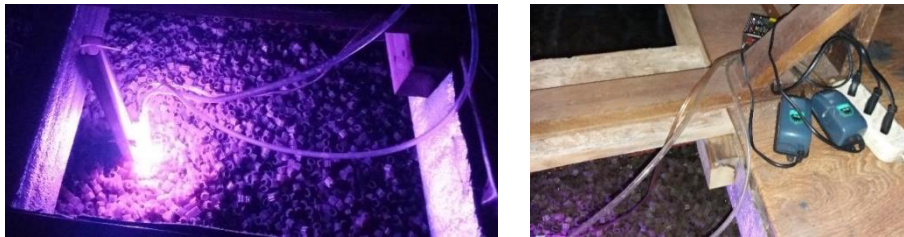


Рис. 3.5 Фільтр біологічного очищення вод ферми з розведення риби з носіями біомаси та встановленою аераційно-освітлювальною установкою [17].



Рис. 3.6. Фільтр біологічного очищення рибницької ферми з ємністю зі статичним завантаженням і аераційно-освітлювальною установкою [17].

За оптичною густиною стічних вод, що очищаються, визначимо коефіцієнт світлопропускання середовища.

$$\tau_{(\text{після басейну})} = 10^{-D} = 10^{-0,02} = 0,95 \quad (3.2)$$

$$\tau_{(\text{після біофільтра})} = 10^{-0,011} = 1 \quad (3.3)$$

Згідно з формулою (3), проводимо розрахунок освітленості в біофільтрі та будуємо графік (рис. 3.6):

$$Ev = \frac{\Phi * \tau}{\pi * h^2 * tg^2(\Omega/2)} \quad (3.4)$$

$$E_{(10\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * 0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 32175 \text{Лк} \quad (3.5)$$

$$E_{(15\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * 0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 14300 \text{Лк} \quad (3.6)$$

$$E_{(20\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * 0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 8044 \text{Лк} \quad (3.7)$$

$$E_{(25\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * 0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 5148 \text{Лк} \quad (3.8)$$

$$E_{(30\text{см})} = \frac{13,3 \times 240 * 0,95}{3,14 * 0,1^2 * tg^2(120/2)} = 3275 \text{Лк} \quad (3.9)$$

Освітлювально-аераційна установка була встановлена в центрі ємності біологічного фільтра. Об'єм біофільтра становив при розмірах $1 \times 1,4 \times 1,1$ (а×b×h) = 1,55 м³. Розподіл світла освітлювально-аераційною установкою в біофільтрі продемонстровано на рис. 3.5. Корпус біофільтра заповнений плаваючими носіями біомаси на 55%. З цього випливає, що 45% освітлювально-аераційної установки, що знаходяться в придонній зоні, безперешкодно випромінюють світло придонному активному мулу, а також шару плаваючих носіїв біомаси. У процесі очищення, носії біомаси перемішуються і переміщуються по біофільтру за рахунок подачі стисненого повітря на аерацію. Таким чином, носії біомаси,

що плавають у безпосередній близькості до ОАУ, є перепорою для освітлення віддалених носіїв біомаси, а також, перемішуючись та короткочасно поглинаючи більшу дозу світла, прямують далі по біофільтру, забезпечуючи мікроорганізмам цикл культивування "день-ніч" [17].

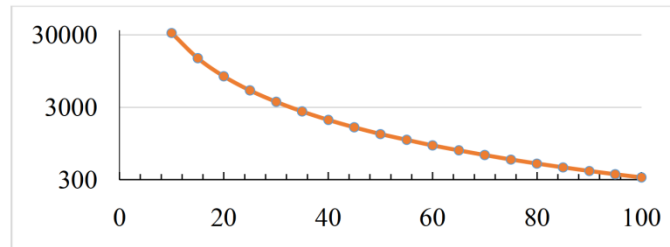


Рис. 3.7. Рівень освітленості біомаси біофільтра (Лк) залежно від відстані від освітлювально-аераційної установки (см) [17].

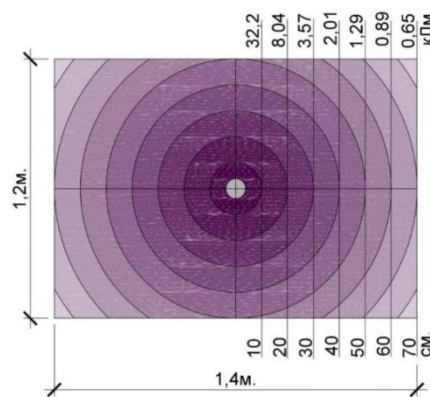


Рис. 3.8. Розподіл світла в біофільтрі [17].

Таким чином, вважаючи освітленість 0,65 кЛм мінімальною і достатньою для освітлення біомаси на відстані 70 см від освітлювально-аераційної установки (рис. 3.8), визначаємо, що відстань між суміжними освітлювально-аераційними установками дорівнюватиме (70×2) 140 см за умови розташування їх на відстані 70 см від стінок біофільтра. Дані установчі розміри освітлювально-аераційних установок рекомендуються до проектування нових і реновації наявних біофільтрів для очищення вод рибницьких ферм [17].

Відповідно до отриманого висновку про оптимальне розміщення за освітленістю (рис. 3.8) аераційно-освітлювальну установку було інтегровано в біологічний фільтр і запущено в роботу в дослідно-промислових умовах очищення оборотних вод рибницької ферми.

Через місяць після встановлення освітлювально-аераційної установки було відібрано проби стічних вод і відправлено на аналіз в акредитовану лабораторію. За результатами даних аналізу (таблиця 3.2), спостерігається зниження ХСК на 90%, а БСК на 81%. Вимірювання проводили за такими методиками:

ХПК, (мгО/л) – ПНД Ф 14.162.100-97;

O₂, (мг/л) - ПНД Ф 14.1:2:3.101-97;

NH₄⁺, (мг/л) – ПНД Ф 14.1:2.1-95;

NO₂⁻, 9мг/л) - ПНД Ф 14.1:2.3-95;

NO₃⁻, (мг/л) – ПНД Ф 14.1:2:4.4-95;

PO₄³⁻ (мг/л) – ПНД Ф 14.1:2:4.112-97;

БПК, (мгО₂/л) - ПНД Ф 14.1:2:3:4.123-97;

В.в., (мг/л) – ПНД Ф 14.1:2.110-97

Отримані результати на тлі очищення шляхом денітрифікації доводять раціональність використання освітлювально-аераційної установки. Споживана потужність освітлювально-аераційної установки склала 63 Вт/год, що за витратами не поступається вартості денітрифікації.

Аналізуючи отримані результати, можна бачити, що робота аераційно-освітлювальної установки підвищує ефективність очищення вод за нормованими інгредієнтами порівняно з її відсутністю (таблиця 3.3).

Аналогічні результати (таблиця 3.3) було отримано під час очищення скидних (продувних) вод, що спрямовуються в міську систему водовідведення, якість яких відповідає нормативам приймання стічних вод.

Застосуємо методику еквіпроцентування для спільної оцінки трьох режимів за сумою відсотків очищення за трьома режимами очищення: 1 - наявний; 2 - з освітлювально-аераційною установкою; 2а - з освітлювально-аераційною установкою + сітчастий фільтр; 3 - з денітрифікацією.

Таблиця 3.2 – Показники очищення оборотних вод у промислових умовах за основними шкідливими для риб елементами (мг/л).

		рН	ХПК, мгО/л	O ₂ , мг/л	NH ₄ ⁺ , мг/л	NO ₂ ⁻ , мг/л	NO ₃ ⁻ , мг/л	PO ₄ ³⁻ , мг/л	БПК, мгО ₂ /л	В.В., мг/л	
1	Вихідна	На вході з басейну	7,0	860,0	5,4	0,42	0,87	158,0	9,1	80,0	99,5
2		Після біофільтра	7,3	430,0	5,6	0,05	0,15	142,0	8,7	76,0	58,5
3	З аераційно-світлової установки (через 10 днів)	із басейнів	-	530,0	6,2	2,34	0,60	218,0	-	-	-
4		Після біофільтра	6,4	88,0	7,4	2,90	0,50	189,0	14,0	15,0	13,0
5		після механічного фільтра	6,3	68,0	6,7	3,22	0,60	209,0	13,0	9,9	12,2
6	-	з денітрифікацією	-	94,0	3,6	0,05	0,18	95,0	-	-	-

Таблиця 3.3 – Ефективність очищення оборотних вод у промислових умовах за основними шкідливими для риб елементами (%).

		ХПК, мгО/л	Э,% (ХПК)	NO ₃ ⁻ , мг/л	Э,% (NO ₃ ⁻)	БПК, мгО ₂ /л	Э,% (БПК)	В.В., мг/л	Э,% (ВВ)	
1	Вихідна	На вході з басейну	860,0	-	158,0	-	80,0	99,5	-	
2		Після біофільтра	430,0	50	142,0	10,1	76,0	5	58,5	41,2
3	З аераційно-світлової установки (через 10 днів)	із басейнів	530,0	-	218,0	-	80,0	-	86,3	-
4		Після біофільтра	88,0	83,4	189,0	13,3	15,0	81,5	13,0	84,9
5		після механічного фільтра	68,0	81,2	209,0	4,1	9,9	87,6	12,2	85,9
6	-	з денітрифікацією	94,0	82,2	95,0	56,4	12,6	84,5	36,4	61,2

Сума відсотків ефективності очищення за режимами дорівнює: 1 - 126,5; 2 - 263,1; 2а - 258,8; 3 - 284,3. Можна бачити, що найкращим є режим очищення вод із денітрифікацією, на другому місці - режим з освітлювально-аераційною установкою.

Непрямым показником ефективності очищення вод з освітлювально-аераційною установкою є збільшення протягом 2-х місяців дослідно-промислової експлуатації вагових приростів вирощування риби на 20-30% на місяць за умови повнішого використання кормів через підвищення прозорості води.

Таким чином, для наявних і новопроектованих установок риборозведення можна рекомендувати вбудовувати в них освітлювально-аераційну установку та/або вузол денітрифікації.

Освітлювально-аераційна установка проста в експлуатації, у разі нестачі її потужності можливий монтаж додаткових аналогічних модулів, а також у разі протікання забезпечено безпеку - напруга, що подається на світлодіоди, становить не більше 12В.

Слід зазначити, що проби очищуваних стічних вод брали із зони носіїв біомаси. Згідно з візуальним оглядом аналізів і розрахунком освітленості (рис. 3.7), на дні біофільтра спостерігався активний процес розвитку мікроорганізмів. У кутах корпусу біофільтра протікав менш інтенсивний ріст, зумовлений низькою в цих зонах рухливістю очищуваного середовища. Таким чином, з огляду на той факт, що освітлювально-аераційна установка, яка працювала на повну потужність, дала змогу досягти підвищення ГПК на 90% і БПК на 81%, а освітленість найвіддаленіших придонних ділянок становила не менше ніж 500 Лк (рис. 3.6 та 3.7), потужність ОАУ повністю відповідала потребі біофільтра в освітленні. А внаслідок глибшого очищення вод із застосуванням аераційно-освітлювальної установки приріст маси риби в басейнах підвищився на 20-25%, що є економічним стимулом до промислового використання нової технології.

Висновки по розділу

На підставі результатів і проведених досліджень складено рекомендації щодо використання освітлювально-аераційної установки на риборозплідних підприємствах:

- інтеграція освітлювально-аераційної установки в біофільтр дає підвищення ефективності біологічного очищення, а також зниження витрат на денітрифікацію або відмову від неї;
- використання освітлення біоценозу біофільтра проходить у синьо-червоному спектрі світла;
- освітленість біомаси визначається індивідуально для кожного біофільтра за розробленою методикою розрахунку;
- кількість освітлювально-аераційних пристроїв і відстань між ними визначається за методикою розрахунку;
- показником ефективності очищення вод після впровадження освітлювально-аераційної установки є збільшення протягом 2-х місяців дослідно-промислової експлуатації приростів вирощування риб у відсотковому співвідношенні;
- у разі нестачі потужності освітлювально-аераційної установки, або при нарощуванні продуктивності, можливий монтаж додаткових аналогічних модулів;
- забезпечено безпеку експлуатації освітлювально-аераційної установки - напруга, що подається на світлодіоди, становить не більше ніж 12В.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Порівняльним аналізом конструктивних рішень і технологічних режимів роботи установок біологічного очищення оборотних вод показано, що використання культиваторів мікрободоростей із джерелами освітлення має економічну та екологічну перевагу світлодіодних ламп зі світловіддачею 60-110 Люмен/Вт і терміном служби до 30000-100000 годин.

Розроблено методики розрахунку та підбору штучних джерел світла, установки біологічного очищення оборотних вод, їхньої кількості, а також визначення параметрів освітлювальних елементів із врахуванням оптичної густини та коефіцієнта пропускання на відстані 15-25 см від поверхні культивованого середовища за світлового потоку світлодіодів у діапазоні 25-65 Лм.

Дослідження показали підвищення ефективності очищення за, %: ХСК – 90, БСК – 81, нітратів – 39,9. Споживана потужність освітлювально-аераційної установки склала 63 Вт/год, що не перевищує експлуатаційні витрати денітрифікації. Непрямим показником ефективності очищення вод установкою з освітлювально-аераційним елементом є приріст маси риби, що вирощується, на 20-30% на місяць при повнішому використанні кормів через підвищення прозорості води. Встановлено розрахунком і підтверджено експериментально, відстань між суміжними освітлювально-аераційними пристроями в біореакторі має бути не більше 140 см, за умови розташування їх на відстані 70 см від стінок.

Встановлено, що в разі ввімкнення синьо-червоного освітлення відбувається підвищення активності та приріст аеробних мікроорганізмів, які тим самим витісняють анаеробні та аноксидні мікроорганізми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>. (дата звернення: 05.12.2020).
2. Вдовенко Н. М. Формування та функціонування Спільної рибної політики Європейського союзу та шляхи її реалізації в Україні: монографія / за ред. д.е.н., проф. Вдовенко Н. М. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2018. 476 с.
3. Вдовенко Н. М. Державне регулювання розвитку аквакультури в Україні: Монографія. К.: Вітас ЛТД, 2013. 464 с.
4. Вдовенко Н. М., Давиденко Н. М., Гечбаія Б. Н. Фінансова діяльність рибогосподарських підприємств: підручник. К.: Кондор-Видавництво, 2015. 538 с.
5. Вдовенко Н. М., Кваша С. М. Рекомендації щодо можливості функціонування механізму державно-приватного партнерства у рибній галузі. К.: Вітас ЛТД, 2013. 70 с.
6. Вдовенко Н. М. Регулювання розвитку аквакультури у штучних водоймах України: монографія. К.: Основа, 2011. 368 с.
7. Власов В. І. Глобальна продовольча проблема. К.: Інститут аграрної економіки, 2001. 506 с.
8. Інформаційно-аналітичні матеріали щодо стану економічних показників рибного господарства України та ЄС / Шарило Ю. Є., Вдовенко Н. М., Павленко М. М., Федоренко М. о., Шепелєв С. С., Деренько О. О. К.: НУБіП України. 2017. 33 с.
9. Лук'яненко О. Д. Потенціал рибальства в глобальній економіці / Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2020. № 4, Т. 2. С. 7–12.
10. Лук'яненко О. Д. Трансформація політики ЄС в секторі рибальства. Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки. 2019. № 4. Т. 3. С. 17–24.

11. Лук'яненко Олександр. Управлінські імперативи глобального рибальства. Ринок цінних паперів України. 2018. № 5–6, С. 61–67.

12. Лук'яненко О. Д. Нормативно-правові механізми розвитку рибальства і аквакультури в Україні. Судова влада в системі стримувань та противаг демократичного суспільства: компаративна теорія і практика: матер. Всеукр. наук.-практ. конф.; 15 січня 2021 р. С. 117–118.

13. Лук'яненко О. Д. Організаційно-кадровий потенціал розвитку рибного господарства України. Соціально-трудова сфера в координатах нової економіки та глобальної соціо-економічної реальності: виклики, шляхи розвитку: зб. тез доповідей учасників Міжнар. наук.-практ. конф.; 11–12 лист. Київ: КНЕУ. 2021. С. 360–362.

14. Публічний звіт про роботу Державного агентства рибного господарства України у 2016 році. URL: https://darg.gov.ua/_publichni_j_zvit_pro_robotu_0_0_0_3421_1.html. (дата звернення: 20.01.2017).

15. Фесенко О. О. Євроінтеграція України у секторі рибальства та аквакультури: можливі варіанти, загрози і переваги. Економічний часопис. – XXI. 2013. № 9–10(1) С. 83–86.

16. **Островський С.В.** Аналіз технологій і технічних рішень установок очищення оборотних вод рибозведення. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 228-229.

17. Міненко С.В., **Островський С.В.** Монтаж і дослідження режиму роботи освітлювально-аераційної установки в біофільтрі. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 213-215.

18. Міненко С.В., **Островський С.В.** Впровадження освітлювальних елементів у біофільтри барабанного типу. XII Міжнародна науково-технічна

конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).