

УДК 621.327

DOI: 10.31498/2225-6733.52.2025.351015

**РОЗРОБКА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ УФ-ДЕЗІНФЕКЦІЇ ВОДИ
ДЛЯ РЕЦИРКУЛЯЦІЙНИХ АКВАКУЛЬТУРНИХ УСТАНОВОК**

Семенов А.О. канд. фіз.-мат. наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3184-6925>, e-mail: asemen2015@gmail.com;

Семенова Н.В. начальник відділу маркетингу, Полтавський ливарно-механічний завод, м. Полтава, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4495-7712>, e-mail: nvsemenova78@gmail.com

Одним із ключових завдань функціонування установок замкненого водопостачання (УЗВ) для вирощування риби є забезпечення мікробіологічної безпеки води. Серед відомих методів дезінфекції найбільш поширеними є озонування та ультрафіолетове (УФ) випромінювання, а також їхні комбінації. Проте застосування озону супроводжується низкою обмежень: токсичністю для гідробіонтів, утворенням побічних продуктів та зниженням розчиненого кисню у воді, що знижує його придатність для УЗВ. У роботі представлено результати досліджень з розробки та впровадження електротехнічної системи ультрафіолетового знезараження води, яка працює за принципом проточного опромінення із попереднім фільтруванням. Як джерело бактерицидного випромінювання застосовано лампи низького тиску з максимумом на довжині хвилі 254 нм. Експериментальні дослідження на аквафермі з вирощування осетрових показали, що використання УФ-установки сумарною потужністю 850 Вт (10 ламп низького тиску) забезпечує стабільний бактерицидний потік на рівні 220 Вт/м² та ефективну інактивацію мікроорганізмів у системах об'ємом до 80 м³. Протягом усього періоду спостережень загальне мікробне число, загальні колиформи та *E.coli* не перевищували допустимих норм, а випадків бактеріальних та грибкових захворювань риби не було зафіксовано. Розроблена електротехнічна система знезараження води дозволяє підвищити надійність і біологічну безпеку функціонування УЗВ без використання озону, є енергоефективною та придатною для масштабування у промислових аквакультурних господарствах.

Ключові слова: аквакультура, рециркуляційні системи, ультрафіолетове випромінювання, знезараження води, інактивація мікроорганізмів, електротехнічні системи.

Постановка проблеми

Сучасний розвиток аквакультури в Україні та світі орієнтований на індустріальні методи інтенсивного вирощування риби в установках замкненого водопостачання (УЗВ-системи), які дозволяють мінімізувати використання природних водних ресурсів та забезпечувати стабільні умови для вирощування [1]. Проте одним з головних факторів, що визначають успішність функціонування УЗВ, є підтримання стабільної якості води, зокрема її бактеріологічної безпеки. Вода в рециркуляційних системах швидко накопичує органічні домішки, патогенні бактерії та грибки, що призводить до виникнення захворювань риб, зниження продуктивності та економічних збитків [1, 2].

Найбільш поширеними методами знезараження оборотної води є озонування та ультрафіолетове (УФ) опромінювання [3-5]. Озонування забезпечує високу ефективність знезараження завдяки окислювальним властивостям озону, проте має суттєві недоліки: токсичність для риби при перевищенні концентрацій, утворення побічних шкідливих сполук та необхідність додаткової фільтрації [5, 6]. УФ-опромінювання натомість є екологічно безпечним методом, який базується на фотохімічних реакціях нуклеїнових кислот мікроорганізмів у діапазоні 200-280 нм, що призводить до їх інактивації [4, 7, 8].

Водночас ефективність УФ-знезараження залежить від низки чинників: мутності води, наявності завислих частинок, прозорості кварцових чохлаів та

стабільності параметрів роботи електротехнічної системи [9]. За даними [10], навіть при високих дозах УФ-опромінювання (75-1800 мВт/см²) залишкова кількість мікроорганізмів може зберігатися через екранування зваженими частинками. Це свідчить про необхідність попередньої механічної та біологічної фільтрації, а також оптимізації електротехнічної схеми та потужності ламп з врахуванням їх небезпечності при опромінюванні [11].

У сучасних аквакультурних технологіях дедалі більшої уваги набувають питання електротехнічної інтеграції систем знезараження: вибір типу ламп, їх електричне навантаження, стабілізація напруги та струму, контроль інтенсивності випромінювання та автоматизація управління процесом [1, 12]. Зокрема, лампи низького тиску з довжиною хвилі 254 нм забезпечують оптимальний бактерицидний ефект при знезараженні [13] з мінімальними енергетичними витратами [7].

Таким чином, постає проблема розробки енергоефективної електротехнічної системи УФ-знезараження води в УЗВ-системах, яка б поєднувала попереднє очищення та контроль бактерицидного потоку. Це дозволить забезпечити мікробіологічну безпеку води, знизити ризики захворювань риби та підвищити ефективність вирощування в умовах УЗВ-системи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Розвиток аквакультурних господарств у всьому світі, які використовують рециркуляційні системи,

стикається з проблемою ефективності дезінфекції. Нові технологічні підходи рециркуляції в УЗВ-системах пропонують змінити традиційні способи, включаючи вдосконалення класичних процесів: попередня фільтрація від крупних частинок, біофільтрація, а також газообмінні процеси, які спрямовані на підтримання оптимальних умов для вирощування риби [1].

Вибір технології та обладнання для очищення оборотної води має ключове значення в умовах інтенсивної експлуатації систем замкненого водопостачання (УЗВ). Саме цей етап визначає стабільність усього технологічного процесу вирощування риби. З огляду на це, науковці активно розробляють та вдосконалюють безреагентні методи очищення, які забезпечують ефективну інактивацію мікроорганізмів без утворення токсичних побічних сполук, шкідливих для гідробіонтів [2].

У працях [1, 5] розглянуто рециркуляційні системи інтенсивного рибництва, де вода проходить послідовне очищення через механічні фільтри для видалення твердих частинок, біофільтри з нітрифікуючими бактеріями та газообмінні пристрої для видалення CO_2 і насичення води киснем. Результати експериментів доводять, що поєднання процесів фільтрації, ультрафіолетового опромінення та озонування дозволяє підтримувати оптимальний мікробіологічний стан води, необхідний для стабільного росту риби в умовах рециркуляційного водокористування [6, 14].

Серед сучасних способів знезараження води найбільш поширеними є ультрафіолетове опромінення та озонування. Використання УФ-випромінювання сприяє ефективному зниженню кількості мікроорганізмів у водному середовищі. Водночас, як зазначають дослідники [15], застосування озонування у рециркуляційних водних системах є малоприматним, оскільки для досягнення бактерицидного ефекту необхідні значні дози озону, більша частина якого реагує з органічними домішками. Крім того, у процесі озонування утворюються сполуки, що можуть мати токсичну дію [16], у тому числі на рибу та живі корми [5]. Дослідження [6] та [17] підтверджують, що надлишкова концентрація озону викликає пошкодження зябер риби, гіпоксію та загибель особин. Саме тому озонування все частіше розглядають як допоміжний етап, який потребує додаткової фільтрації [18].

В Україні під час вирощування риби у системах замкненого водопостачання найчастіше застосовують озонування для дезінфекції води, а ультрафіолетове опромінення використовують рідше. Ефективність цих методів, а також їх комбінованого застосування [19], визначається складом води, зокрема наявністю у ній розчинених і завислих органічних речовин. На противагу цьому, УФ-опромінювання демонструє високу ефективність щодо широкого спектра мікроорганізмів [20]. Дослідження, проведені у Freshwater Institute (West Virginia, USA), показали, що дози УФ-випромінювання від 75 до 1800 мВт/см² забезпечують інактивацію коліформних бактерій, а мінімальною

ефективною дозою є 77 мВт/см² [21]. Проте ефективність процесу знижується у присутності завислих частинок, які екранують УФ-промені, що підтверджує необхідність попередньої фільтрації [14].

Озонування є одним із ефективних методів знищення небажаних мікроорганізмів, оскільки базується на процесах глибокого окиснення органічних речовин та біологічних структур. Під час обробки води озоном дрібнодисперсні частинки розщеплюються до молекулярного рівня, після чого можуть бути видалені з рециркуляційної системи за допомогою різних типів фільтрів. Такий підхід до очищення води особливо ефективний у рибних інкубаторах, де вирощуються види, чутливі до наявності зважених частинок і бактерій. Водночас, у міжнародній практиці застосування озонування для рибництва зазнало критики через можливі негативні наслідки для біоти [21]. Надлишкова концентрація озону може бути шкідливою для риби в умовах її вирощування, оскільки озон є сильним окислювачем і є токсичним для риби, тому може викликати різні негативні ефекти на аквакультурні системи. Високі рівні озону пошкоджують гілки зябер риби, що призводить до зниження ефективності дихання. Це може призвести до стресу, погіршення росту та здоров'я риби. Крім того, озон впливає на рівновагу водних систем, зокрема знижує розчинення кисню та призводить до гіпоксії (недостатнього кисню) і загибелі риби. Важливо контролювати рівень озону та забезпечувати належне провітрювання і фільтрацію води, щоб уникнути його негативного впливу на рибу і забезпечити здорове середовище для їх вирощування [22].

Більшість проаналізованих наукових робіт [12-23] приділено проблемі використання УФ-випромінювання в рециркуляційних системах вирощування риби.

Варто відзначити, що у багатьох випадках ультрафіолетове знезараження розглядається як безпечніша альтернатива озонуванню. УФ-опромінення з довжиною хвилі в діапазоні 200-280 нм (діапазон УФ-С) забезпечує інактивацію мікроорганізмів завдяки фотохімічним реакціям, які відбуваються в молекулах нуклеїнових кислот усередині клітин. Цей процес відбувається миттєво у межах спеціальної опромінювальної камери [24] і не становить небезпеки ні для риби, ні для обслуговуючого персоналу. За даними дослідження [7], рівень необхідної опроміненості залежить від типу мікроорганізмів: для бактерій і грибів він становить близько 100 мДж/см², тоді як для вірусів потрібні вищі дози – у межах 200-250 мДж/см². Такі значення обумовлені необхідністю компенсувати зниження прозорості води, поглинання УФ-енергії водним середовищем та низьку турбулентність потоку поблизу лампи. Це пояснює потребу у стабілізації електротехнічних параметрів УФ-установок (напруга, струм, інтенсивність випромінювання) та використанні систем автоматизованого контролю [7].

Таким чином, аналіз останніх досліджень свідчить про те, що найбільш перспективним напрямом є

застосування електротехнічних систем УФ-зnezараження, які забезпечують мікробіологічну стабільність води в УЗВ без утворення токсичних побічних з'єднань.

Мета статті

Метою роботи є розробка та експериментальне обґрунтування ефективної електротехнічної системи ультрафіолетового зnezараження води в установках замкненого водопостачання (УЗВ), що використовуються для вирощування риби.

Для досягнення цієї мети передбачено вирішення таких завдань:

- провести аналітичний огляд сучасних методів дезінфекції води в аквакультури та визначити їхні переваги й обмеження;
- дослідити вплив попереднього механічного та біологічного очищення на ефективність ультрафіолетового зnezараження;
- обґрунтувати вибір типу та режимів роботи УФ-ламп як основного елемента електротехнічної системи дезінфекції;
- розробити електротехнічну схему системи зnezараження води, яка включає модулі фільтрації, УФ-камеру, засоби коригування рН, насичення киснем та блок автоматизованого управління;
- визначити оптимальні параметри бактерицидного потоку для інактивації основних патогенних мікроорганізмів у воді при різних об'ємах рециркуляційних систем;
- провести експериментальні дослідження ефективності розробленої системи під час вирощування осетрових у промислових умовах;
- здійснити порівняльний аналіз з традиційними методами зnezараження (озонуванням) з точки зору мікробіологічної ефективності, енергоекономічності та екологічної безпеки.

Очікуваним результатом дослідження є створення науково обґрунтованої технології зnezараження води в УЗВ, що забезпечує стабільну бактеріологічну якість без застосування озонування, мінімізує енергетичні витрати та гарантує безпечні умови для вирощування риби в промислових масштабах.

Виклад основного матеріалу

При проектуванні та розробці системи бактерицидного зnezараження води в установках замкненого водопостачання, що використовуються у рибництві, застосовано метод ультрафіолетового опромінювання з використанням потужних штучних джерел світла, які працюють у спектральному діапазоні 200-280 нм.

У практиці аквакультури розрізняють два основних типи УФ-установок:

перший тип – обладнання, що знижує загальну кількість мікроорганізмів у воді, але без чіткого контролю інтенсивності опромінення (переважно

спрямоване на покращення санітарного стану води і зменшення ризику поширення хвороботворних бактерій);

другий тип – системи, які забезпечують гарантовану інактивацію бактерій та вірусів щонайменше на 4 порядки (10^4), при опроміненості близько 40 мДж/см², що є обов'язковим компонентом сучасних УЗВ.

Серед подібних установок розрізняють УФ-стерилізатори поверхневого та зануреного типів. Поверхневі системи складаються з блоків ламп із відбивачами, встановлених над поверхнею води. Проте їхня ефективність є обмеженою через невелику глибину проникнення випромінювання у товщу води. Натомість стерилізатори з камерами проточного опромінення є значно результативнішими й надійнішими [13], оскільки зnezараження відбувається безпосередньо у водяному потоці. Таке обладнання можна інтегрувати на будь-якому етапі схеми очищення [25], за умови попереднього видалення завислих частинок, які знижують проникність УФ-променів.

Для досягнення необхідних санітарних показників у рециркуляційних системах обробка води повинна здійснюватися безперервно. Вона включає фільтрацію, бактерицидне зnezараження та регулювання фізико-хімічних параметрів середовища (рівень рН, концентрація розчиненого кисню, температура) [26].

У дослідженні представлено конструкцію системи УФ-зnezараження, що реалізує багатоступеневий процес очищення та зnezараження води. Система передбачає послідовне видалення великих механічних домішок, тонке очищення від дрібнодисперсних частинок, які зумовлюють мутність і забарвлення води, а також ультрафіолетову дезінфекцію. Додатково передбачене обладнання (блоки) для коригування рівня рН, насичення води киснем, підтримання необхідної температури та електронний блок керування, який забезпечує автоматизацію процесів. Фільтраційні модулі ефективно видаляють сторонні механічні домішки, проте не вирішують проблему інактивації мікроорганізмів. Тому було сконструйовано УФ-установку потужністю 850 Вт, що містить 10 ламп низького тиску, розташованих вертикально у кварцових чохлах після блоку тонкої фільтрації. Сумарна бактерицидна інтенсивність опромінення 220 Вт/м².

Характеристики використаних ламп наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики УФ-ламп

Тип лампи	P, Вт	I, А	U, В	Енергетична освітленість, Вт/см ²
ZW80D19Y	85	1,0-1,2	120	250-280

Схема запропонованої установки представлена на рис. 1.

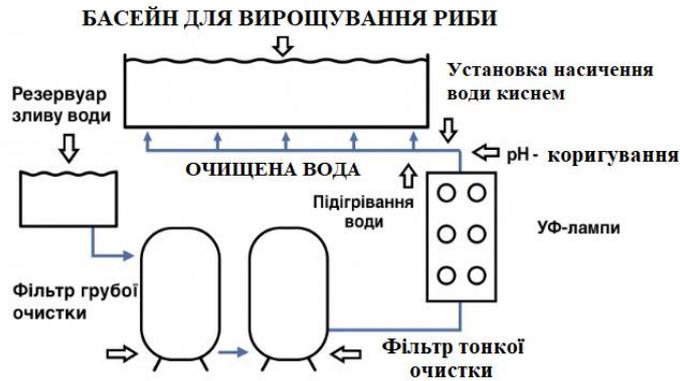


Рис. 1 – Схема очищення та дезінфекції води в УЗВ-системі при вирощуванні риби

Для забезпечення стабільності параметрів процесу ультрафіолетового знезараження в розробленій системі передбачено блок автоматизованого управління, який виконує функції моніторингу, регулювання та захисту. Структура блоку автоматизованого управління включає: мікропроцесорний контролер типу Siemens LOGO; датчики температури, мутності та рівня рН води, фотоелектричний сенсор інтенсивності УФ-випромінювання, сигнальні реле, контактори та модуль живлення ламп, пульт оператора з індикацією основних параметрів.

Контролер обробляє дані від датчиків у реальному часі й регулює роботу системи відповідно до заданих алгоритмів. При зниженні інтенсивності УФ-випромінювання нижче нормативного рівня автоматично подається сигнал на заміну лампи або очищення кварцового чохла. При підвищенні мутності води понад допустиме значення контролер збільшує тривалість фільтрації або інформує оператора про потребу у промиванні фільтрів.

Принцип роботи блоку автоматизованого управління полягає у поетапному контролі основних параметрів (після фільтраційного модуля вода надходить до УФ-камери, де відбувається опромінення):

- датчик УФ-інтенсивності безперервно вимірює рівень опромінення і передає сигнал на контролер;
- контролер порівнює отримані значення з еталонними і при відхиленні здійснює автоматичну корекцію подачі напруги на пускорегулювальні пристрої ламп;
- у разі відхилення температури або зниження напруги мережі активується система аварійного захисту з відключенням живлення ламп та звуковою сигналізацією.

Засоби коригування рН реалізовані у вигляді окремого модуля, інтегрованого в систему контролю води. Вимірювання рівня рН здійснюється за допомогою електрохімічного датчика типу рН-201, сигнал з якого надходить до контролера. При зниженні рН нижче 7,0 активується дозатор розчину гідрокарбонату натрію; при підвищенні понад 7,8 – дозатор слабкого розчину оцтової кислоти.

Система дозування працює імпульсно, забезпечуючи підтримання стабільного рівня рН у межах 7,2-7,6, що є оптимальним для осетрових риб у рециркуляційних установках.

Блок автоматизованого управління також здійснює *логування* параметрів (інтенсивність випромінювання, температура, рН, час роботи ламп), що дозволяє відстежувати стан системи та планувати технічне обслуговування.

Випробування проводили на аквафермі з вирощування осетрових. УЗВ-система складалася з восьми резервуарів об'ємом по 10 м³ кожен. Очищення води здійснювалося безперервно через канал шириною 200 мм і висотою 950 мм, при рівні води 840-860 мм. Основні умови експерименту наведено в табл. 2.

Моніторинг мікробіологічних показників виконувався у сертифікованій лабораторії. Результати аналізу продемонстрували, що загальне мікробне число не перевищувало нормативних 100 КУО/см³: від 17 КУО/см³ у вихідній воді до 74 КУО/см³ на 28-й день спостережень. Колиформні та *E. coli* у всіх випадках були відсутні [28].

Таблиця 2

Умови проведення експериментальних робіт		
Температура, °С (20-22 °С)*	Рівень рН (7,2-7,8)*	Вміст розчиненого кисню, мг/л (5,5-6)*
21-22 °С	7,3-7,7	5,6-5,8

* - нормоване значення

Значення отриманих результатів бактеріологічних досліджень води в басейні при вирощуванні риби зведені в табл. 3.

Дослідження підтвердили, що комбінація фільтрації та УФ-опромінення забезпечує необхідну санітарно-бактеріологічну якість води у басейнах об'ємом до 80 м³. Протягом 6 місяців використання системи не було зафіксовано проявів бактеріальних захворювань (*Flexibacter Cytophaga*, *Aeromonas*) та грибкових уражень (*Saprolegniales*)

Таблиця 3

Результати бактеріологічного дослідження води

Показник	Ви- моги НД	Результати дослідження, кількість днів				
		3	7	14	28	
ЗМЧ КУО/см ³ при 37 ⁰ С	≤100 КУО в 1 см ³	17	28	42	37	74
Загальні коліформи КУО/100см ³	-	Не виявлено				
E.coli КУО/100см ³	-	Не виявлено				

Результати та їх обговорення

Проведені дослідження на аквафермі з вирощування осетрових у рециркуляційній системі об'ємом 80 м³ (8 резервуарів по 10 м³) показали, що застосування УФ-установки потужністю 850 Вт (10 ламп низького тиску по 85 Вт) у поєднанні з попередньою механічною та тонкою фільтрацією води забезпечує стабільне знезараження протягом усього періоду спостереження.

Визначено, що сумарний бактерицидний потік становив 220 Вт/м², що відповідає оптимальним значенням для інактивації більшості бактерій та грибків у воді. Згідно з результатами бактеріологічних досліджень, наведені в таблиці 2, загальне мікробне число (ЗМЧ) у воді не перевищувало нормативного значення 100 КУО/см³, а коліформи та E.coli не були виявлені. Початкове значення ЗМЧ складало 17 КУО/см³, після 3 діб воно підвищувалося до 28 КУО/см³, через 7 діб – до 42 КУО/см³, однак залишалось у межах норми. На 28-й день дослідження кількість мікроорганізмів становила 74 КУО/см³, що також відповідало граничним допустимим показникам.

Додатково встановлено, що за період спостереження (6 місяців) у риб не було виявлено характерних бактеріальних хвороб (Aeromonas, Flexibacter Sutorphaga) та грибкових інфекцій (Saprolegniales). Це підтверджує ефективність застосованої технології.

Отримані дані свідчать, що використання ультрафіолетового випромінювання у поєднанні з попередньою фільтрацією є ефективним і безпечним методом знезараження води в УЗВ-системах. Подібні результати наведені у роботі [3], де вказано, що застосування УФ-систем дозволяє суттєво зменшити чисельність патогенних мікроорганізмів у воді.

Порівняно з озонуванням, яке є поширеним методом знезараження в Україні [1], ультрафіолетове опромінювання має низку переваг:

- не утворює токсичних побічних продуктів, небезпечних для риби [5];
- забезпечує миттєву інактивацію мікроорганізмів без впливу на фізико-хімічні параметри води [7];

- не призводить до гіпоксії та пошкодження зябер риби, що характерно для надмірних концентрацій озону [6, 18].

Ефективність роботи УФ-установки підтверджується тим, що навіть за тривалого використання у рециркуляційній системі (до 80 м³) рівень бактеріологічних показників залишався у межах норми. Аналогічні висновки наведені у роботі [9], де зазначається, що доза УФ-опромінювання 75-100 мВт/см² достатня для інактивації більшості бактерій у воді.

Розроблена електротехнічна система ультрафіолетового знезараження може ефективно використовуватися в промислових рибницьких господарствах, оскільки забезпечує: стабільність мікробіологічних показників води; зменшення ризиків виникнення бактеріальних і грибкових захворювань; екологічну безпеку та відсутність негативного впливу на рибу і персонал; енергоефективність завдяки використанню ламп низького тиску.

Висновки

1. У роботі запропоновано та випробувано електротехнічну технологію знезараження води в басейнах рециркуляційних аквакультурних систем, яка ґрунтується на застосуванні ультрафіолетового опромінювання без використання озонування. Такий підхід дозволяє уникнути утворення токсичних побічних продуктів і забезпечує екологічну безпеку для риби.

2. Встановлено, що для УЗВ об'ємом до 80 м³ достатньо застосування УФ-установки потужністю 850 Вт, яка створює бактерицидний потік інтенсивністю 220 Вт/м², що відповідає рекомендованим дозам для інактивації бактерій та грибків. За умов експлуатації протягом шести місяців якість води відповідала санітарно-гігієнічним нормам, а випадків бактеріальних чи грибкових захворювань риби не зафіксовано.

3. Отримані результати підтверджують доцільність впровадження розробленої УФ-системи як ефективного та енергоощадного інструмента підтримання мікробіологічної стабільності у промислових аквакультурних господарствах. Результати можуть бути використані при проектуванні та модернізації промислових УЗВ-систем.

Перелік використаних джерел

[1] New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability / C. I. M. Martins et al. *Aquacultural Engineering*. 2010. Vol. 43, No. 3. Pp. 83-93. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002>.

[2] Timmons M. B., Ebeling J. M. *Recirculating Aquaculture*. 2nd ed. Ithaca, NY: Cayuga Aqua Ventures, 2013. 948 p.

[3] Summerfelt S. T. *Ozonation and UV irradiation – an introduction and examples of current applications*. *Aquacultural Engineering*. 2003. Vol. 28, no. 1-2.

- Pp. 21-36. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8609\(02\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00069-9).
- [4] Escherichia coli survival in waters: Temperature dependence / R. A. Blaustein et al. *Water Research*. 2013. Vol. 47, iss. 2. Pp. 569-578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.10.027>.
- [5] Cabello F. C. Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment. *Environmental Microbiology*. 2006. Vol. 8, no. 7. Pp. 1137-1144. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x>.
- [6] August G. A., Graham G. A. Ozone applications in recirculating aquaculture systems. *Ozone: Science and Engineering*. 2011. Vol. 33, no. 5. Pp. 345-367. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919512.2011.604595>.
- [7] The scientific foundations of ultraviolet radiation usage: effects, sources, and applications in water disinfection. Monograph / Yeleussinov B., Sakhno T., Semenov A., Popov S. Kyzylorda, 2024. 204 p.
- [8] Chen S., Ling J., Blancheton J.-P. Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors. *Aquacultural Engineering*. 2006. Vol. 34(3). Pp. 179-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004>.
- [9] Mamane-Gravetz H., Linden K. G. Impact of particle aggregated microbes on UV disinfection. *Aquatic Microbial Ecology*. 2004. Vol. 36. Pp. 131-138. DOI: <https://doi.org/10.3354/ame036131>.
- [10] Hijnen W. A. M., Beerendonk E. F., Medema G. J. Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: A review. *Water Research*. 2006. Vol. 40, no 1. Pp. 3-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030>.
- [11] Assessment of the danger of using ultraviolet lamps in electrical systems / A. Semenov et al. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2024. R. 100, no. 2. Pp. 152-155. DOI: <https://doi.org/10.15199/48.2024.02.31>.
- [12] Semenov A., Sakhno T., Barashkov N. Method of ultraviolet disinfection of water when growing fish in recirculating systems. *ACS Fall 2023 Harnessing the Power of Data*, San Francisco, CA & Hybrid, 13-17 August 2023. Abstract No. 3902516.
- [13] Combined method of UV treatment and ozonation during water disinfection in swimming / A. Semenov et al. *Proceedings of the 15th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Kyiv, Ukraine, 17-19 November 2021. Pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2095>.
- [14] Insight into bacterial population in aquaculture systems and its implication / J. P. Blancheton et al. *Aquacultural Engineering*. 2013. Vol. 53. Pp. 30-39. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2012.11.009>.
- [15] The effects of moderate ozonation or high intensity UV-irradiation on the microbial environment in RAS for marine larvae / K. J. K. Attramadal et al. *Aquaculture*. 2012. Vol. 330-333. Pp. 121-129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.042>.
- [16] Semenov A. A., Sakhno T. V. Disinfection of swimming pool water by UV irradiation and ozonation. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2021. Vol. 43, no. 6. Pp. 491-496. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1063455X21060084>.
- [17] Gräslund S., Bengtsson B.-E. Chemicals and biological products used in Southeast Asian shrimp farming, and their potential impact on the environment – a review. *Science of the Total Environment*. 2001. Vol. 280, no. 1-3. Pp. 93-131. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(01\)00818-X](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(01)00818-X).
- [18] Closed circulatory system for mariculture using ozone / Kobayashi T., Yotsumoto H., Ozawa T., Kawahara H. *Ozone Science and Engineering*. 1993. Vol. 15. Pp. 311-330. DOI: <https://doi.org/10.1080/01919519308552492>.
- [19] Семенов А. О., Кожушко Г. М., Сахно Т. В. Знезараження води комбінованими методами – УФ-випромінювання в поєднанні з іншими технологіями. *Технологический аудит и резервы производства*. 2016. № 3/3 (29). С. 67-71.
- [20] Bolton J. R., Cotton C. A. The Ultraviolet Disinfection Handbook. Denver, CO: American Water Works Association (AWWA), 2008. 149 p.
- [21] Inactivation of bacteria using ultraviolet irradiation in a recirculating salmonid culture system / M. J. Sharrer et al. *Aquacultural Engineering*. 2005. Vol. 33. Pp. 135-149. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2004.12.001>.
- [22] Wedemeyer G. Physiology of Fish in Intensive Culture Systems. 1 ed. Springer, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6011-1>.
- [23] Runia W.T. A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless culture. *Acta Horticulturae*. 1995. Vol. 382. Pp. 221-229. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.382.25>.
- [24] Semenov A. Device for disinfection of water by using ultraviolet radiation. *Physics of Liquid Matter: Modern Problems (PLMMP 2018)*: Proceedings of the 8th International Conference, Kyiv, 18-22 May 2018. Pp. 1-20.
- [25] Ultraviolet radiation as disinfection for fish surgical tools / R. W. Walker et al. *Animal Biotelemetry*. 2013. Vol. 1, no. 1. Pp. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1186/2050-3385-1-4>.
- [26] Bregnballe J. A Guide to Recirculation Aquaculture. An introduction to the new environmentally friendly and highly productive closed fish farming systems. FAO and EUROFISH, 2015. 95 p.

DEVELOPMENT OF AN ELECTROTECHNICAL SYSTEM FOR UV WATER DISINFECTION IN RECIRCULATING AQUACULTURE SYSTEMS

- Semenov A.O.** PhD (Physics and Mathematics), associate professor, Poltava State Agrarian University, Poltava, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3184-6925>, e-mail: asemen2015@gmail.com;
- Semenova N.V.** head of marketing department, Poltava Foundry and Mechanical Plant, Poltava, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4495-7712>, e-mail: nvsemenova78@gmail.com

One of the key tasks in the operation of recirculating aquaculture systems (RAS) for fish farming is to ensure the microbiological safety of water. Among the known disinfection methods, the most widely used are ozonation, ultraviolet (UV) irradiation, and their combinations. However, the application of ozone is accompanied by several limitations: toxicity to aquatic organisms, formation of harmful by-products, and reduction of dissolved oxygen in water, which makes it less suitable for RAS. This study presents the results of research on the development and implementation of an electrotechnical UV water disinfection system operating on the principle of flow-through irradiation with preliminary filtration. As a source of bactericidal radiation, low-pressure lamps with a maximum emission wavelength of 254 nm were used. Experimental studies conducted at a sturgeon aquafarm demonstrated that the use of a UV unit with a total power of 850 W (10 low-pressure lamps) provides a stable bactericidal flux of 220 W/m² and ensures effective inactivation of microorganisms in systems with a water volume of 100 m³. Throughout the observation period, the total microbial count, total coliforms, and E. coli did not exceed permissible limits, and no cases of bacterial or fungal diseases in fish were recorded. The developed electrotechnical water disinfection system improves the reliability and biological safety of RAS operation without the use of ozone, is energy-efficient, and can be scaled for industrial aquaculture facilities.

Keywords: aquaculture, recirculating aquaculture systems (RAS), ultraviolet irradiation, water disinfection, microorganism inactivation, electrotechnical systems.

References

- [1] C.I.M. Martins et al., "New developments in recirculating aquaculture systems in Europe: A perspective on environmental sustainability," *Aquacultural Engineering*, vol. 43, no. 3, pp. 83–93, 2010. doi: [10.1016/j.aquaeng.2010.09.002](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.09.002).
- [2] M.B. Timmons, and J.M. Ebeling, *Recirculating Aquaculture*, 2nd ed. Ithaca, NY: Cayuga Aqua Ventures, 2013.
- [3] S.T. Summerfelt, "Ozonation and UV irradiation—an introduction and examples of current applications," *Aquacultural Engineering*, vol. 28, no. 1-2, pp. 21-36, 2003. doi: [10.1016/S0144-8609\(02\)00069-9](https://doi.org/10.1016/S0144-8609(02)00069-9).
- [4] R.A. Blaustein, Y. Pachepsky, R.L. Hill, D.R. Shelton, and G. Whelan, "Escherichia coli survival in waters: Temperature dependence," *Water Research*, vol. 47, iss. 2, pp. 569–578, 2013. doi: [10.1016/j.watres.2012.10.027](https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.10.027).
- [5] F.C. Cabello, "Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: A growing problem for human and animal health and for the environment," *Environmental Microbiology*, vol. 8, no. 7, pp. 1137-1144, 2006. doi: [10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x](https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.01054.x).
- [6] G.A. August, and G.A. Graham, "Ozone applications in recirculating aquaculture systems," *Ozone: Science and Engineering*, vol. 33, no. 5, pp. 345-367, 2011. doi: [10.1080/01919512.2011.604595](https://doi.org/10.1080/01919512.2011.604595).
- [7] B. Yeleussinov, T. Sakhno, A. Semenov, and S. Popov, *The Scientific Foundations of Ultraviolet Radiation Usage: Effects, Sources, and Applications in Water Disinfection. Monograph*. Kyzylorda, 2024.
- [8] S. Chen, J. Ling, and J.-P. Blancheton, "Nitrification kinetics of biofilm as affected by water quality factors," *Aquacultural Engineering*, vol. 34, no. 3, pp. 179-197, 2006. doi: [10.1016/j.aquaeng.2005.09.004](https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.09.004).
- [9] H. Mamane-Gravetz, and K.G. Linden, "Impact of particle aggregated microbes on UV disinfection," *Aquatic Microbial Ecology*, vol. 36, pp. 131-138, 2004. doi: [10.3354/ame036131](https://doi.org/10.3354/ame036131).
- [10] W.A.M. Hijnen, E.F. Beerendonk, and G.J. Medema, "Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: A review," *Water Research*, vol. 40, no 1, pp. 3-22, 2006. doi: [10.1016/j.watres.2005.10.030](https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.10.030).
- [11] A. Semenov, S. Popov, S. Yakhin, B. Yeleussinov, and T. Sakhno, "Assessment of the danger of using ultraviolet lamps in electrical systems," *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 100, no. 2, pp. 152-155, 2024. doi: [10.15199/48.2024.02.31](https://doi.org/10.15199/48.2024.02.31).
- [12] A. Semenov, T. Sakhno, and N. Barashkov, "Method of ultraviolet disinfection of water when growing fish in recirculating systems," in *Proc. of the ACS Fall 2023 Harnessing the Power of Data*, San Francisco, CA & Hybrid, Aug. 13-17, 2023, abstract No. 3902516.
- [13] A. Semenov, S. Vyzhva, T. Sakhno, N. Semenova, and O. Nikityuk, "Combined method of UV treatment and ozonation during water disinfection in swimming," in *Proc. 15th Int. Conf. Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Kyiv, Ukraine, Nov. 17-19, 2021, pp. 1-5. doi: [10.3997/2214-4609.20215K2095](https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2095).

- [14] J.P. Blancheton, K.J.K. Attramadal, L. Michaud, E. Roque d'Orbcastel, and O. Vadstein, "Insight into bacterial population in aquaculture systems and its implication," *Aquacultural Engineering*, vol. 53, pp. 30-39, 2013. doi: **10.1016/j.aquaeng.2012.11.009**.
- [15] K.J.K. Attramadal, G. Øie, T.R. Størseth, M.O. Alver, O. Vadstein, and Y. Olsen, "The effects of moderate ozonation or high intensity UV-irradiation on the microbial environment in RAS for marine larvae," *Aquaculture*, vols. 330-333, pp. 121-129, 2012. doi: **10.1016/j.aquaculture.2011.11.042**.
- [16] A.A. Semenov, and T.V. Sakhno, "Disinfection of swimming pool water by UV irradiation and ozonation," *Journal of Water Chemistry and Technology*, vol. 43, no. 6, pp. 491-496, 2021. doi: **10.3103/S1063455X21060084**.
- [17] S. Gräslund, and B.-E. Bengtsson, "Chemicals and biological products used in Southeast Asian shrimp farming, and their potential impact on the environment – a review," *Science of the Total Environment*, vol. 280, no. 1-3, pp. 93-131, 2001. doi: **10.1016/S0048-9697(01)00818-X**.
- [18] T. Kobayashi, H. Yotsumoto, T. Ozawa, and H. Kawahara, "Closed circulatory system for mariculture using ozone," *Ozone: Science & Engineering*, vol. 15, pp. 311-330, 1993. doi: **10.1080/01919519308552492**.
- [19] A.O. Semenov, H.M. Kozhushko, and T.V. Sakhno, "Znezarazhennia vody kombinovanymy metodamy – UF-vyprominiuvannia v poiednanni z inshymy tekhnolohiiamy" ["Water disinfection by combined methods – UV irradiation with other technologies"], *Tekhnolohicheskyy audit i rezervy proizvodstva – Technology audit and production reserves*, no. 3/3(29), pp. 67-71, 2016. (Ukr.)
- [20] J. R. Bolton, and C.A. Cotton, *The Ultraviolet Disinfection Handbook*. Denver, CO: American Water Works Association (AWWA) Publ., 2008.
- [21] M.J. Sharrer, S.T. Summerfelt, G.L. Bullock, L.E. Gleason, and J. Taeuber, "Inactivation of bacteria using ultraviolet irradiation in a recirculating salmonid culture system," *Aquacultural Engineering*, vol. 33, pp. 135-149, 2005. doi: **10.1016/j.aquaeng.2004.12.001**.
- [22] G. Wedemeyer, *Physiology of Fish in Intensive Culture Systems*, 1-st ed. Springer, 1996. doi: **10.1007/978-1-4615-6011-1**.
- [23] W.T. Runia, "A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless culture," *Acta Horticulturae*, vol. 382, pp. 221-229, 1995. doi: **10.17660/ActaHortic.1995.382.25**.
- [24] A. Semenov, "Device for disinfection of water by using ultraviolet radiation," in *Proc. of the 8th Int. Conf. Physics of Liquid Matter: Modern Problems (PLMMP 2018)*, Kyiv, May 18-22, 2018, pp. 1-20.
- [25] R.W. Walker et al., "Ultraviolet radiation as disinfection for fish surgical tools," *Animal Biotelemetry*, vol. 1, no. 1, pp. 1-4, 2013. doi: **10.1186/2050-3385-1-4**.
- [26] J. Bregnballe, *A Guide to Recirculation Aquaculture: An Introduction to the New Environmentally Friendly and Highly Productive Closed Fish Farming Systems*. FAO and EUROFISH, 2015.

Стаття надійшла 27.09.2025

Стаття прийнята 07.10.2025

Стаття опублікована 29.12.2025

Цитуйте цю статтю як: Семенов А. О., Семенова Н. В. Розробка електротехнічної системи УФ-дезінфекції води для рециркуляційних аквакультурних установок. *Вісник Приазовського державного технічного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 52. С. 132-139. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.52.2025.351015>.