

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І
НАУКИ УКРАЇНИ**

**Державний вищий
навчальний заклад
«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
(ДВНЗ «ПДТУ»)**

**p-ISSN 2225-6733
e-ISSN 2519-271X**

***ВІСНИК
ПРИАЗОВСЬКОГО
ДЕРЖАВНОГО
ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ***

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

**Видається 2 рази на рік
з 1995 року**

Випуск 52

Серія: Технічні науки

Дніпро, 2025

**MINISTRY OF EDUCATION AND
SCIENCE OF UKRAINE**

**State higher
educational institution
«PRIAZOVSKYI STATE
TECHNICAL UNIVERSITY»
(SHEI «PSTU»)**

**p-ISSN 2225-6733
e-ISSN 2519-271X**

***REPORTER
OF THE PRIAZOVSKYI
STATE
TECHNICAL
UNIVERSITY***

COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

**Published twice a year,
since 1995**

Issue 52

Section: Technical sciences

Dnipro, 2025

Вісник Приазовського державного технічного університету: зб. наук. праць. Серія: Технічні науки. Дніпро: ДВНЗ «Приазов. держ. техн. ун-т», 2025. Вип. 52. 255 с. DOI: <https://doi.org/10.31498/2225-6733.52.2025>.

У збірнику публікуються результати теоретичних та експериментальних досліджень вчених вищого навчального закладу та провідних спеціалістів у галузі технічних наук, показаний їхній вклад у розвиток науки та сучасних технологій. Публікації видання зберігаються на офіційному сайті Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Іщенко А.О.

Angeliki G. Lekatou

Hossam Ahmed Mohamed

Halfa

Sergey Edward Lyshevski

Dmytro Makarchuk

Oleksandr Vrublevskiy

Азархов О.Ю.

Белоконь К.В.

Білоусов Є.В.

Булгаков М.П.

Бялобржеський О.В.

Головань А.І.

Грицук І.В.

Губинський М.В.

Єфременко В.Г.

Кириллова О.В.

Клецька О.В.

Ковалевська О.С.

Кухар В.В.

Лук'яненко А.О.

Мазур В.О.

Маменко П.П.

Онищенко О.А.

Парфененко Ю.В.

Петренко Т.Г.

Плахтій О.А.

Позорлецький Д.С.

Проніна О.І.

Прус В.В.

П'ятикоп О.Є.

Саенко Ю.А.

Симоненко Р.В.

Сілі І.І.

Тарандушка А.А.

Твердомед В.М.

Ткачов В.В.

Худяков І.В.

Чабак Ю.Г.

Чеберячко Ю.І.

Чупринов Є.В.

Шумило О.М.

Савенко О.С.

Сорокіна М.Є.

головний редактор, д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

Dr., PhD, University of Ioannina (UOI), **Greece**

Dr., PhD, Central Metallurgical R&D Institute (CMRDI), Cairo, **Egypt**

Dr., PhD, Rochester Institute of Technology, New York, **USA**

PhD, Solent University, Southampton, **UK**

Dr., PhD, University of Warmia and Mazury in Olsztyn, Olsztyn, **Poland**

д-р мед. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

канд. техн. наук, доц., Запорізький національний університет, **Україна**

д-р техн. наук, проф., Херсонська державна морська академія, **Україна**

канд. техн. наук, доц., Одеський національний морський університет, **Україна**

канд. техн. наук, доц., КрНУ ім. Михайла Остроградського, **Україна**

д-р техн. наук, доц., Одеський національний морський університет, **Україна**

д-р техн. наук, проф., Національний університет «Чернігівська політехніка», **Україна**

д-р техн. наук, проф., Національна металургійна академія України, **Україна**

д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

д-р техн. наук, проф., Одеський національний морський університет, **Україна**

канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

канд. техн. наук, доц., Донбаська державна машинобудівна академія, **Україна**

д-р техн. наук, проф., «Технічний університет «Метінвест Політехніка», **Україна**

канд. техн. наук, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона

Національної академії наук України, **Україна**

канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

доктор філософії, доц., Херсонська державна морська академія, **Україна**

д-р техн. наук, проф., НУ «Одеська морська академія», **Україна**

канд. техн. наук, доц., Сумський державний університет, **Україна**

канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, **Україна**

канд. техн. наук, доц., УкрДУЗТ, **Україна**

канд. техн. наук, доц., Херсонська державна морська академія, **Україна**

канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

д-р техн. наук, доц., КрНУ ім. Михайла Остроградського, **Україна**

канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

д-р техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

д-р техн. наук, проф., Національний транспортний університет, **Україна**

канд. техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

д-р техн. наук, проф., Черкаський державний технологічний університет, **Україна**

канд. техн. наук, доц., Державний університет інфраструктури та техно-

логії, **Україна**

д-р техн. наук, проф., НТУ «Дніпровська політехніка», **Україна**

канд. техн. наук, доц., Херсонська державна морська академія, **Україна**

д-р техн. наук, доц., ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

д-р техн. наук, проф., НТУ «Дніпровська політехніка», **Україна**

канд. техн. наук, доц., Державний університет економіки і технологій, **Україна**

д-р техн. наук, проф., Одеський національний морський університет, **Україна**

відповідальний секретар, канд. техн. наук, ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

коректор, ДВНЗ «ПДТУ», **Україна**

Адреса: ДВНЗ «ПДТУ», проспект Дмитра Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна.

Телефон редакції: (098) 480-24-03.

E-mail: vestnik.pgту@gmail.com, vestnik_pgту@pstu.edu (для надсилання статей).

Ідентифікатор в Реєстрі суб'єктів у сфері друкованих медіа – R30-02289, згідно з рішенням Нацради України з питань телебачення і радіомовлення від 21.12.2023 № 1821. Збірник входить до переліку наукових фахових видань (категорія «Б»), в якому можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт, згідно з Наказами Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020, № 886 від 02.07.2020.

Рекомендовано до друку Вченою Радою ДВНЗ «ПДТУ», протокол № 6 від 29.12.2025 р.

ISSN 2225-6733 (Print), ISSN 2519-271X (Online)

ЗМІСТ

CONTENTS

**КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**COMPUTER SCIENCE AND
INFORMATION TECHNOLOGY**

**Кривенко О.В., Балалаєва О.Ю.,
Кучеренко О.М.**

Створення 3D-моделі драматичного театру міста Маріуполя для збереження історичної пам'ятки та культурної спадщини України

7

**O. Kryvenko, O. Balalaieva,
O. Kucherenko**

Creating a 3D model of the Mariupol Drama Theatre to preserve a historical landmark and the cultural heritage of Ukraine

Сергієнко А.В., Волобуєв Є.С.

Дослідження використання генетичних алгоритмів для автоматизованого проектування ударостійких поверхонь

25

A.V. Sergienko, Y.S. Volobuiev

Research into the use of genetic algorithms for automated design of impact-resistant surfaces

Ситник М.В., Піднебесна Г.А.

Інтелектуальна система багатокритеріального вибору комплектуючих на основі динамічного алгоритму Сааті

33

M.V. Sytnyk, H.A. Pidnebesna

Intelligent system for multi-criteria component selection based on dynamic Saaty algorithm

**Сиротенко О.Г., Петрова Р.В.,
Морозова А.І.**

Методи машинного навчання як інструмент аналізу темпів кар'єрного розвитку співробітників ІТ-компанії

39

**O.G. Syrotenko, R.V. Petrova,
A.I. Morozova**

Machine learning methods as a tool for analysing the career development pace of IT company employees

**Казаченко О.Г., П'ятикоп О.Є.,
Носовська С.Є.**

Кластерний аналіз та прогнозування пошукових запитів для побудови інтелектуальної системи моніторингу попиту на медичні ліцензії

48

**O.H. Kazachenko, O.Ye. Piatykor,
S.Ye. Nosovska**

Cluster analysis and search query forecasting for building an intelligent system for monitoring demand for medical licenses

Білявенко Л.В., Коваленко О.С.

Методи Data Mining та машинне навчання як засоби аналізу стану пацієнтів та ускладнень захворювань за клінічними даними

55

L.V. Biliavenko, O.S. Kovalenko

Data Mining methods and machine learning as tools for analyzing patient conditions and disease complications based on clinical data

**Куцяк О.А., Пезенцалі Г.О.,
Кріщанович М.Ю.**

Проектування інформаційної системи діагностування рухової активності «MTest»

64

**O.A. Kutsiak, H.O. Pezentsali,
M.Yu. Krishchanovych**

Information system for diagnosing motor activity «MTest» design

Проніна О.І., Рейжевський М.І.

Розробка програмного забезпечення генерації мережевого трафіку в комп'ютерних мережах для задач кібербезпеки

75

O.I. Pronina, M.I. Reizhevskiy

Development of software for network traffic generation in computer networks for cybersecurity tasks

**Левицька Т.О., Копійка О.С.,
Пилипенко Б.В.**

Захист даних і безпека моделей машинного навчання в ринково-нейтральних стратегіях крипторейдингу

83

**T.O. Levytska, O.S. Kopyika,
B.V. Pylypenko**

Data protection and security of machine learning models in market-neutral cryptocurrency trading strategies

МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

MATERIALS SCIENCE

Chabak Yu.G., Sili I.I., Efremenko B.V., Stavrouskaia V.E., Sagirov R.I., Efremenko V.G.

Stabilization of low-temperature impact toughness in heavy structural steel plates by adjusting normalizing rolling parameters

93

Yu.G. Chabak, I.I. Sili, B.V. Efremenko, V.E. Stavrouskaia, R.I. Sagirov, V.G. Efremenko

Stabilization of low-temperature impact toughness in heavy structural steel plates by adjusting normalizing rolling parameters

МЕТАЛУРГІЯ

METALLURGY

Таратута К.В.

Оцінка впливу масштабного фактору на руйнування прямокутних профілів при волочінні з використанням нормалізованого критерію Кокрофта-Летема

102

K.V. Taratuta

Assessment of the influence of the scale factor on the destruction of rectangular profiles during drawing using the normalized Cockroft-Latham criterion

Пантейков С.П.

Підвищення безпеки експлуатації конструкторської головок для верхніх конвертерних фурм

114

S.P. Panteikov

Enhancing the operational safety of tip designs for top converter lances

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

**ELECTRICAL ENGINEERING AND
ELECTROMECHANICS**

Саєнко Ю.А., Любарцев В.В.

Удосконалення прогнозування електричних навантажень у мережах із розподіленою генерацією за допомогою нейронних мереж

124

Yu. Sayenko, V. Liubartsev

Improvement of electric load forecasting in distributed generation networks using neural networks

Семенов А.О., Семенова Н.В.

Розробка електротехнічної системи УФ-дезінфекції води для рециркуляційних аквакультурних установок

132

A.O. Semenov, N.V. Semenova

Development of an electrotechnical system for UV water disinfection in recirculating aquaculture systems

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ

AUTOMATION AND COMPUTER-INTEGRATED TECHNOLOGIES

Кравченко В.П., Койфман О.О., Сімкін О.І., Мірошниченко В.І.

Керування групою повітрянагрівачів доменної печі під час паралельної роботи на дутті двох повітрянагрівачів

140

V.P. Kravchenko, O.O. Koufman, O.I. Simkin, V.I. Miroshnychenko

Control of hot blast stove group during parallel blast operation of two stoves

**ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

**ENVIRONMENTAL PROTECTION
TECHNOLOGY**

Волошин В.С., Азархов О.Ю.

Ентропійний фактор у прояві властивостей органічних і неорганічних систем на межі співіснування людини та навколишнього середовища

151

V.S. Voloshyn, A.Yu. Azarkhov

Entropy factor in the manifestation of properties of organic and inorganic systems on the border of coexistence between man and the environment

Копаниця О.Б.

Діагностика та контроль спухання активного мулу на біологічних очисних спорудах

158

O.B. Kopanytsia

Diagnosis and control of activated sludge bulking at biological wastewater treatment plants

Покшевніцька Т.В.

Закономірності антропогенного забруднення водних ресурсів

166

T.V. Pokshevnytska

Regularities of anthropogenic pollution of water resources

ЦИВІЛЬНА БЕЗПЕКА

CIVIL SECURITY

**Цопа В.А., Чеберячко С.І.,
Дерюгін О.В., Шароватова О.П.**

Аналіз причин та особливостей керування ризиками у надзвичайних ситуаціях

174

**V. Tsopa, S. Cheberyachko,
O. Deryugin, O. Sharovatova**

Analysis of reasons and features of risk management in emergency situations

РІЧКОВИЙ ТА МОРСЬКИЙ ТРАНСПОРТ

RIVER AND SEA TRANSPORT

**Бурлаченко Д.А., Мельник О.М.,
Пастернак О.Я., Пуляєв І.О.,
Чеча О.П.**

Динамічна модель прогнозування ризику для автономних суден з врахуванням невизначеності та стійкості систем управління

186

**D. Burlachenko, O. Melnyk,
O. Pasternak, I. Pulyaev,
O. Checha**

Dynamic model of risk prediction for autonomous vessels taking into account uncertainty and stability of control systems

Лесневський В.М., Калініченко Є.В.

Аналіз сучасних підходів до ідентифікації динамічних характеристик маневрування суден

197

V.M. Lesnevskiy, Y.V. Kalinichenko

Analysis of current approaches to identifying the dynamic characteristics of ship maneuvering

Гончарук І.П.

Методичні основи формування підсистеми моніторингу суднових технічних засобів у складі системи комплексного зниження енергетичних втрат торгових суден

205

I.P. Honcharuk

Methodological basis for the formation of a subsystem for monitoring ship machinery as part of a system for the comprehensive reduction of energy losses in merchant ships

ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ

RAILWAY TRANSPORT

**Fomin O., Lohvinenko O.A.,
Vorokh A.O., Lutsenko O.A.**

Structural analysis of compressors of traction and multiple unit rolling stock

214

**O. Fomin, O.A. Lohvinenko,
A.O. Vorokh, O.A. Lutsenko**

Structural analysis of compressors of traction and multiple unit rolling stock

АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

ROAD TRANSPORT

**Худяков І.В., Грицук І.В.,
Погорлецький Д.С., Дзигар А.К.,
Аксьонова О.О.**

Аналіз методів діагностування паливної
апаратури автотракторних дизелів і
розробка математичної моделі палив-
ного насоса високого тиску

222

**I.V. Khudiakov, I.V. Gritsuk,
D.S. Pohorletsky, A.K. Dzygar,
O.O. Aksonova**

Analysis of methods for diagnosing fuel
equipment of auto tractor diesel engines
and development of a mathematical model
of a high-pressure fuel pump

**ТРАНСПОРТНІ ТЕХНОЛОГІЇ
(ЗА ВИДАМИ)**

**TRANSPORT TECHNOLOGIES
(BY TYPES)**

Кириллова О.В., Ромах В.Л.

Концептуальна модель інтегрованого
сухого порту: системне бачення у триа-
ді «hinterland-seaport-foreland»

229

O.V. Kyryllova, V.L. Romakh

Conceptual model of an integrated dry
port: a systemic vision in the triad «hinter-
land-seaport-foreland»

Zhyschynskiy Y.S., Sharko O.

Multimodal transportation risk modeling in
Ukraine

244

Y.S. Zhyschynskiy, O. Sharko

Multimodal transportation risk modeling in
Ukraine

ДО УВАГИ АВТОРІВ

255

INTO CONSIDERATION OF AUTHORS

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 грибових 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 чохлаїв 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.

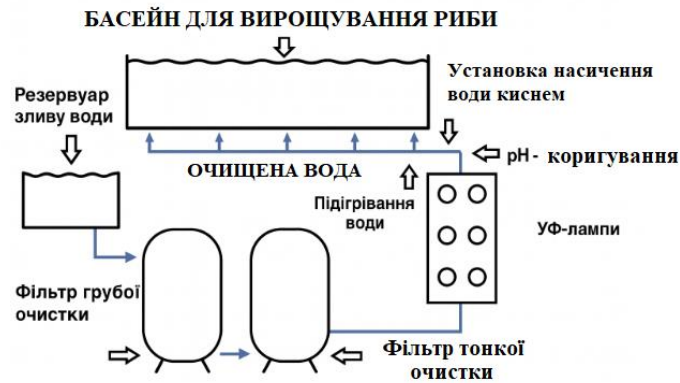


Рис. 1 – Схема очищення та дезінфекції води в УЗВ-системі при вирощуванні риби

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 *pH-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 грибових 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 kombinovanyimi metodami – UF-vyprominiuvannia v poiednanni z inshymi 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>.