

УДК 628.16

doi:10.20998/2413-4295.2026.01.14

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ ОЗОНУВАННЯМ ДЛЯ КОМПАКТНИХ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ

**П. С. ЛІЗАНТАН¹, А. О. САКУН^{1*}, О. Г. ГАЙДУЧОК², С. В. ЛУКАШЕНКО²,
Р. С. ТОМАШЕВСЬКИЙ³, Б. В. ВОРОБІЙОВ³**

¹ кафедра хімічної техніки та промислової екології, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, УКРАЇНА

² кафедра водопостачання, водовідведення і очищення вод, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, м. Харків, УКРАЇНА

³ Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, УКРАЇНА

* e-mail: antonina.sakun@khpri.edu.ua

АНОТАЦІЯ У сучасних умовах погіршення якості водних ресурсів та обмеження доступу до централізованих систем водопідготовки актуальним є розроблення ефективних компактних технологій знезараження води. Одним із перспективних методів є озонування, яке забезпечує інтенсивне окиснення органічних речовин та інактивацію мікроорганізмів. Метою роботи є експериментальне дослідження процесу знезараження води під час озонування залежно від режимів подачі озону та тривалості обробки з визначенням раціональних параметрів для використання у компактних пристроях очищення. На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що процес знезараження має експоненціальний характер, причому найбільш інтенсивне зниження мікробіологічного забруднення відбувається на початкових стадіях обробки. Визначено, що при інтенсивності озонування 0,8 мг/л ефективність процесу є недостатньою для досягнення нормативних показників якості води, тоді як збільшення інтенсивності до 1,6 мг/л забезпечує суттєве прискорення інактивації мікроорганізмів. Найбільш ефективні результати отримано при інтенсивності 2,4 мг/л, за якої досягається максимальне зниження кількості колонієутворюючих одиниць протягом 5 хвилин обробки. Встановлено, що ефективність процесу визначається не лише інтенсивністю подачі озону, але й тривалістю контакту, а також інтегральним показником СТ, який характеризує сумарний вплив концентрації озону та часу. Показано, що досягнення рівня $KVO < 10^4$ КУО/см³ відповідає діапазону $СТ \approx 1-3$ мг·хв/л. Доведено, що оптимальні результати досягаються при поєднанні високої інтенсивності озонування та достатнього часу обробки, а застосування імпульсного режиму подачі озону дозволяє підвищити ефективність масопереносу та знизити енергоспоживання процесу. Отримані результати підтверджують доцільність використання озонування як ефективного етапу попереднього знезараження у компактних системах очищення води та можуть бути використані для обґрунтування параметрів їх роботи.

Ключові слова озонування води; знезараження; КУО; СТ-показник; компактні системи очищення; питна вода.

EXPERIMENTAL STUDY OF WATER DISINFECTION BY OZONATION FOR COMPACT WATER TREATMENT SYSTEMS

**P. LIZANTAN¹, A. SAKUN^{1*}, O. HAIDUCHOK², S. LUKASHENKO², R. TOMASHEVSKYI³,
B. VOROBIOV³**

¹ Department of Chemical Engineering and Industrial Ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, UKRAINE

² Department of Water and Wastewater Engineering, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, UKRAINE

³ Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, UKRAINE

ABSTRACT In modern conditions of deteriorating water quality and limited access to centralized water treatment systems, the development of efficient compact water disinfection technologies is highly relevant. One of the promising methods is ozonation, which ensures intensive oxidation of organic substances and inactivation of microorganisms. The aim of this study is to experimentally investigate the water disinfection process during ozonation depending on ozone supply modes and treatment duration, with the determination of rational parameters for use in compact purification devices. Based on the conducted experimental studies, it was established that the disinfection process follows an exponential pattern, with the most intensive reduction in microbiological contamination occurring at the initial stages of treatment. It was determined that at an ozonation intensity of 0.8 mg/L, the process efficiency is insufficient to achieve regulatory water quality standards, whereas increasing the intensity to 1.6 mg/L significantly accelerates microorganism inactivation. The most effective results were obtained at an intensity of 2.4 mg/L, at which the maximum reduction in colony-forming units is achieved within 5 minutes of treatment. It was found that the efficiency of the process is determined not only by the ozone supply intensity but also by the contact time, as well as by the integral CT parameter, which characterizes the combined effect of ozone concentration and time. It was shown that achieving a level of CFU < 10⁴ CFU/cm³ corresponds to a CT range of approximately 1–3 mg·min/L. It has been proven that optimal results are achieved by combining high ozonation intensity with sufficient treatment time, and that the use of a pulsed

ozone supply mode allows for increased mass transfer efficiency and reduced energy consumption. The obtained results confirm the feasibility of using ozonation as an effective stage of preliminary disinfection in compact water treatment systems and can be used to substantiate their operating parameters.

Keywords: water ozonation; disinfection; CFU; CT value; compact treatment systems; drinking water.

Вступ

Сьогодні умови життя в Україні характеризуються різким загостренням проблеми доступу до безпечної питної води, що безпосередньо пов'язано з наслідками повномасштабної війни. Руйнування об'єктів водогосподарської інфраструктури, забруднення поверхневих джерел і нестабільність енергопостачання призвели до суттєвого погіршення якості води та обмеження можливостей її очищення. За даними досліджень [1-4], значна частина водних об'єктів зазнає підвищеного антропогенного та техногенного навантаження, що проявляється у зростанні показників БСК, ХСК, вмісту завислих речовин, а також мікробіологічного забруднення. У прифронтових та постраждалих регіонах це створює реальну загрозу для здоров'я населення та значно ускладнює забезпечення санітарно-гігієнічних умов, особливо в медичних закладах.

Традиційні ж системи водопідготовки часто є недоступними або неефективними, що зумовлює необхідність розроблення автономних, енергоефективних і компактних технічних рішень, здатних забезпечити отримання води питної якості безпосередньо в місці споживання. Зокрема коагуляція, біологічне очищення та хлорування, не забезпечують повного видалення мікробіологічних забруднювачів, стійких органічних сполук і фармацевтичних залишків, що зумовлює необхідність впровадження більш ефективних окиснювальних процесів [5]. Аналіз технологій [6,7] показує, що найбільш перспективними є комбіновані системи очищення, які поєднують фільтрацію, озонування та ультрафіолетове знезараження, забезпечуючи синергічний ефект та підвищену ефективність видалення як органічних, так і мікробіологічних забруднень. Саме це обґрунтовує доцільність створення компактного портативного пристрою очищення води, адаптованого до умов обмежених ресурсів і екстремальних ситуацій [8].

У зв'язку з цим особливого значення набуває дослідження ефективності окремих етапів такого комбінованого очищення, зокрема процесу озонування як ключового фактору попереднього окиснення та знезараження води.

Озон характеризується високим окиснювальним потенціалом (2,07 В), що забезпечує ефективне руйнування органічних сполук, інактивацію патогенних мікроорганізмів та зниження токсичності води. Особливо важливим є його застосування для доочищення стічних вод, які містять залишкові забруднювачі, включаючи канцерогенні речовини та поверхнево-активні сполуки [9,10]. Цей метод розглядається як важливий етап у комбінованих технологіях очищення води, зокрема у поєднанні з процесами розширеного окиснення (AOPs) [5].

Попереднє озонування сприяє трансформації розчиненої органічної речовини (DOM), підвищуючи ефективність подальших ультрафіолетових окиснювальних процесів за рахунок покращення проникнення ультрафіолетового випромінювання та зниження ефекту «поглинання» радикалів [11].

Разом із тим ефективність озонування визначається складною взаємодією прямих реакцій молекулярного озону та непрямих радикальних механізмів за участю гідроксильних радикалів. Встановлено, що селективність молекулярного озону обмежує його дію щодо деяких стійких сполук, тоді як радикальні процеси забезпечують більш універсальне окиснення широкого спектра забруднювачів [5,11].

У сучасних дослідженнях значна увага приділяється встановленню кількісних залежностей між параметрами процесу озонування та ефективністю видалення забруднювачів, зокрема визначенню ключових критеріїв, таких як співвідношення O_3/TOC та інтегральний показник O_3/CT , які дозволяють прогнозувати ступінь окиснення органічних речовин з урахуванням їх хімічної структури та реакційної здатності [5]. Разом із цим переважна більшість робіт [5,9-14] базується на експериментальних дослідженнях, виконаних у лабораторних або стаціонарних умовах, що не повною мірою враховує специфіку застосування озонування у компактних та автономних системах очищення води, призначених для роботи в умовах обмежених ресурсів. Отримані результати, як правило, представлені у вигляді окремих емпіричних залежностей, що ускладнює їх використання для інженерного проектування малогабаритних установок.

Водночас сучасні тенденції розвитку технологій водоочищення пов'язані з активним впровадженням методів оптимізації та автоматизації процесів озонування, зокрема із застосуванням UV-Vis спектроскопії у поєднанні з алгоритмами машинного навчання для керування дозою озону в режимі реального часу, що дозволяє підвищити ефективність очищення та знизити енергоспоживання [15], а також використанням інтелектуальних моделей, зокрема наївного баєсівського підходу, для оптимізації параметрів процесу залежно від температури та складу газової суміші. У зв'язку з цим особливою актуальністю набуває проведення цілеспрямованих експериментальних досліджень, спрямованих на встановлення узагальнених залежностей між режимами озонування, тривалістю обробки та ефективністю знезараження, які можуть бути безпосередньо використані при розробленні компактних пристроїв очищення води.

Мета роботи

Метою дослідження є експериментальне дослідження процесу знезараження води озонуванням залежно від режимів подачі озону та тривалості обробки, а також визначення необхідного часу і дози для використання в компактному пристрою отримання питної води.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

1) провести експериментальні дослідження процесу озонування води при різних режимах генерації озону;

2) визначити кінетичні залежності зміни концентрації мікроорганізмів (КУО) у часі;

3) оцінити вплив основних технологічних параметрів (режим озонування, час контакту) на ефективність знезараження;

4) побудувати регресійну модель процесу у вигляді функціональної залежності;

Методика виконання експерименту

Для досягнення поставленої мети було проведено серію експериментальних досліджень процесу озонування води в лабораторних умовах із використанням спеціалізованої установки, що забезпечує регульовану подачу озону та контроль часу обробки. В якості води, забрудненої мікроорганізмами, використовувалась проба річкової води (рис. 1). Для знезараження проби води від мікроорганізмів застосовувалось озono-повітряна суміш, що генерується озонатором OG-107 (розробка кафедри промислової та біомедичної електроніки, НТУ «ХПІ»). Дослідження виконувались при інтенсивностях генерації озону на режимах 20, 60, 80, що відповідало різним рівням окиснювального впливу на водне середовище, яке складало приблизно 0,8, 1,6 та 2,4 мг/л.



Рис. 1 – Лабораторний стенд для проведення експериментальних досліджень процесу знезараження води озонуванням

Методика дослідження базувалась на варіюванні двох основних факторів: режиму генерації озону (інтенсивність подачі) та тривалості контакту озону з водою.

Як критерій ефективності процесу використовували зміну мікробіологічного показника – кількості колонієутворюючих одиниць (КУО), що дозволяє об'єктивно оцінити ступінь знезараження.

Відповідно до програми досліджень використовувалось 10 проб води, яку наливали у попередньо простерилізовані ємності для відбору проб об'ємом 250 мл. Потім по три проби оброблялись на різних режимах генерації озону (режими приладу 20, 60, 80) протягом 1, 3 та 5 хв. відповідно. Одно проба залишалась без обробки і відповідала початковій кількості мікроорганізмів. Визначення загального мікробного числа (КУО при $t = 22\text{ }^{\circ}\text{C} - 72$ години) здійснювалось у сертифікованій лабораторії за стандартними методиками.

Обговорення результатів

У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено закономірності зміни мікробіологічних показників води залежно від інтенсивності озонування та тривалості обробки. Дослідження виконувались при інтенсивностях подачі озону 800, 1600 та 2400 мгО₃/хв, що відповідають різним рівням окиснювального впливу на водне середовище.

Аналіз кінетичних залежностей зміни кількості колонієутворюючих одиниць показав, що процес знезараження має експоненціальний характер (рис. 2), що узгоджується з класичними моделями кінетики інактивації мікроорганізмів. На початковому етапі обробки (перші 1–2 хвилини) спостерігається різке зниження концентрації мікроорганізмів, що обумовлено високою концентрацією розчиненого озону та інтенсивним утворенням активних форм кисню, зокрема гідроксильних радикалів. Подальше уповільнення процесу пов'язане зі зниженням концентрації озону у воді, вичерпанням легкодоступних для окиснення субстратів, а також із переходом процесу у дифузійно-обмежену стадію.

При інтенсивності озонування 800 мгО₃/хв спостерігається відносно повільна динаміка зниження КУО, і через 5 хвилин обробки концентрація становить $21 \cdot 10^3$ КУО/см³. Це свідчить про те, що за таких умов озон не забезпечує достатнього окиснювального потенціалу для повного руйнування клітинних структур мікроорганізмів, а значна його частина витрачається на окиснення органічних домішок.

При підвищенні інтенсивності до 1,6 мг/л процес значно інтенсифікується, що проявляється у більш стрімкому зниженні КУО до рівня $9 \cdot 10^3$ КУО/см³. Найбільш ефективний режим 2,4 мг/л забезпечує досягнення значень КУО на рівні $3 \cdot 10^3$ КУО/см³ протягом 5 хвилин, що підтверджує визначальну роль дози озону у формуванні швидкості та глибини процесу знезараження.

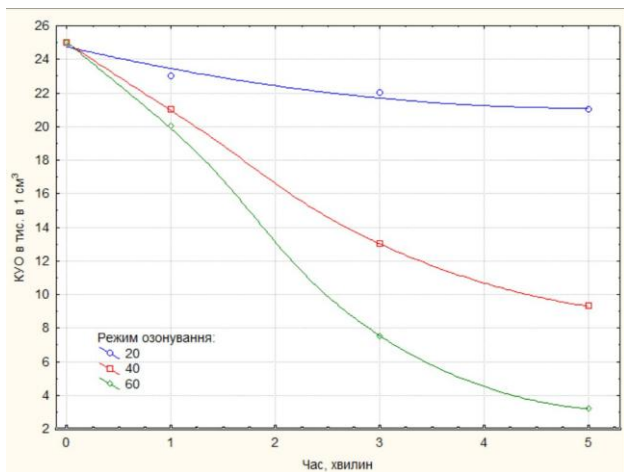


Рис. 2 – Кінетика зниження мікробіологічного забруднення води при різній інтенсивності озонування: 20 – 0,8 мг/л; 40 – 1,6 мг/л; 60 – 2,4 мг/л

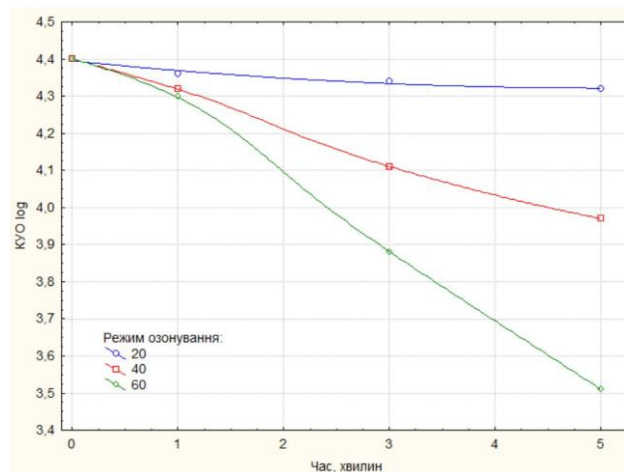


Рис. 3 – Залежність $\log(KYO)$ від тривалості озонування при різних режимах подачі озону

Отримані результати, зображені на рис. 3, свідчать про нелінійний характер залежності ефективності знезараження від інтенсивності озонування. На початкових стадіях процес визначається швидкими реакціями між озоном та біологічними компонентами, тоді як на подальших стадіях зростає вплив гідродинамічних і масопереносних обмежень. Важливу роль відіграє явище «озонового попиту» води, яке полягає у витрачанні озону на окиснення розчинених органічних речовин, що знижує його доступність для інактивації мікроорганізмів.

Для узагальнення отриманих результатів використано інтегральний показник СТ, який характеризує сумарний вплив концентрації озону та часу контакту. Встановлено, що досягнення рівня $KYO < 10^4$ KYO/cm^3 відповідає орієнтовному діапазону $СТ \approx 1-3$ мг·хв/л, що узгоджується з сучасними уявленнями про процеси дезінфекції води та підтверджує доцільність використання цього критерію для інженерного аналізу процесу. Таким чином, ефективність озонування визначається не лише миттєвою концентрацією озону, а інтегральним впливом протягом часу обробки.

Побудована поверхня відгуку (рис. 4) дозволяє узагальнити вплив інтенсивності озонування та часу обробки на ефективність знезараження. Аналіз цієї залежності показує, що максимальний ефект досягається при поєднанні високої інтенсивності подачі озону та достатнього часу контакту. При цьому встановлено, що навіть при максимальних інтенсивностях недостатній час обробки не забезпечує досягнення необхідного рівня знезараження, що підтверджує важливість кінетичних факторів у процесі.

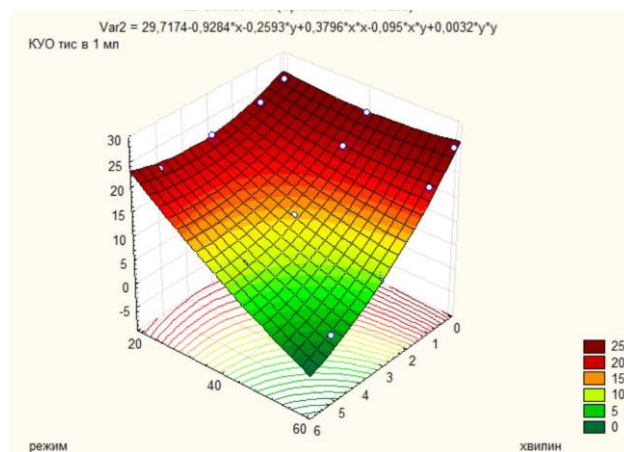


Рис. 4 – Тривимірна залежність ефективності знезараження від режиму озонування та часу контакту

Під час проведення експериментальних встановлено, що перехід від безперервного до імпульсного режиму дозування дозволяє підвищити ефективність масопереносу за рахунок відновлення концентраційного градієнта у паузах між імпульсами, що забезпечує більш рівномірний розподіл озону у воді та підвищення значення СТ при тих самих енерговитратах. Це особливо важливо для компактних систем, де ефективність використання озону визначає загальну продуктивність установки.

На рис. 5 представлена контурна діаграма, яка відображає узагальнений вплив інтенсивності озонування та тривалості обробки на зміну мікробіологічного показника води. Аналіз ізоліній свідчить про виражену нелінійну залежність ефективності знезараження від досліджуваних параметрів. Найвищі значення KYO спостерігаються в області низьких інтенсивностей озонування та короткого часу обробки, що відповідає недостатньому окиснювальному впливу на мікроорганізми.

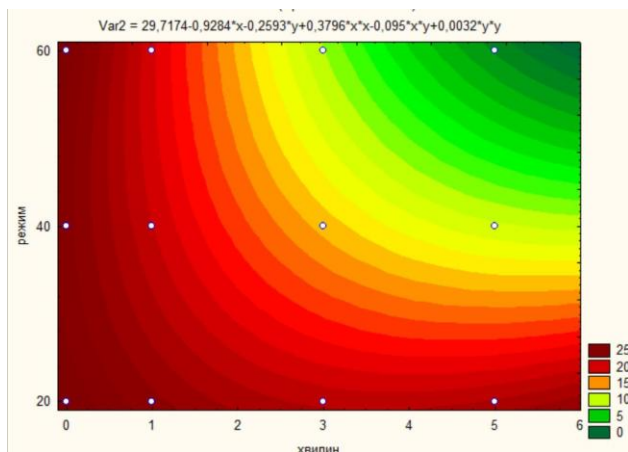


Рис. 5 – Контурна діаграма (ізолінії) залежності кількості КУО від інтенсивності озонування та часу обробки

Зі збільшенням інтенсивності подачі озону та часу контакту відбувається поступове зміння ізоліній у напрямку зниження КУО, що свідчить про підвищення ефективності знезараження. Найбільш інтенсивне зниження мікробіологічного забруднення спостерігається в області високих значень обох факторів (режим 2,4 мг/л та час понад 3–4 хвилини), де формується зона мінімальних значень КУО.

Характер розташування ізоліній підтверджує взаємний вплив факторів: при низьких інтенсивностях навіть значне збільшення часу обробки не забезпечує необхідного рівня знезараження, тоді як при високих інтенсивностях ефект досягається значно швидше. Це свідчить про визначальну роль дози озону та інтегрального показника СТ у формуванні ефективності процесу.

Отримані результати дозволяють визначити раціональні області параметрів роботи установки та можуть бути використані для оптимізації режимів озонування у компактних системах очищення води.

Енергетичний аналіз процесу знезараження (окиснення) показав, що сумарне споживання енергії за цикл обробки становить близько 8,5 Вт·год, з яких приблизно 3,5 Вт·год припадає саме на озонування. Встановлено, що оптимізація режиму подачі озону дозволяє знизити енергоспоживання на 8–10 % без втрати ефективності процесу, що є важливим фактором для автономних і мобільних систем водоочищення.

Разом з тим результати дослідження показують, що навіть при інтенсивності 2,4 мг/л повного знезараження води за короткий час досягти не вдається, що пов'язано з наявністю органічних домішок, екрануванням мікроорганізмів завислими частинками та існуванням стійких форм мікрофлори. У зв'язку з цим у компактних та енергообмежених системах використання лише озонування може бути недостатнім для забезпечення нормативної якості води.

У цьому контексті доцільним є застосування комбінованого підходу, що базується на принципі «озонування – ультрафіолетове випромінювання». Озонування забезпечує попереднє окиснення органічних речовин, зниження каламутності та часткову інактивацію мікроорганізмів, тоді як ультрафіолетове випромінювання забезпечує остаточне знезараження шляхом руйнування ДНК і РНК клітин. Така синергія процесів дозволяє підвищити ефективність очищення, зменшити необхідну дозу озону та забезпечити стабільну якість води навіть у складних умовах експлуатації компактних установок.

Тому, подальші дослідження будуть пов'язані з вивченням синергетичної дії процесів озонування та ультрафіолетового випромінювання з метою підвищення ефективності знезараження води, оптимізації енергоспоживання та обґрунтування їх спільного застосування у компактних системах очищення.

Висновки

У роботі експериментально досліджено процес знезараження води під час озонування в умовах варіювання інтенсивності подачі озону та тривалості обробки, що дозволило встановити закономірності зміни мікробіологічних показників та визначити характер протікання процесу. Показано, що зниження концентрації мікроорганізмів має експоненціальний характер і визначається як рівнем подачі озону, так і тривалістю його контакту з водою. Встановлено, що підвищення інтенсивності озонування від 800 до 2400 мгО₃/хв призводить до значного зростання ефективності знезараження та скорочення часу досягнення заданого рівня очищення.

Доведено, що ефективність процесу визначається не лише миттєвою концентрацією озону, а інтегральним впливом у часі, який доцільно оцінювати за показником СТ. Встановлено діапазон значень цього показника, що забезпечує досягнення необхідного рівня зниження мікробіологічного забруднення, що має важливе значення для інженерного розрахунку та оптимізації процесу.

Показано, що навіть при максимальних інтенсивностях озонування повне знезараження води за обмежений час не досягається, що пов'язано з наявністю органічних домішок, ефектами масопереносу та існуванням стійких форм мікроорганізмів. Встановлено, що оптимізація режиму подачі озону, зокрема застосування імпульсного дозування, дозволяє підвищити ефективність використання озону та зменшити енергоспоживання процесу.

Обґрунтовано, що використання лише озонування у компактних системах очищення може бути недостатнім для забезпечення нормативної якості води, у зв'язку з чим доцільним є застосування комбінованого підходу «озонування –

ультрафіолетове випромінювання», який забезпечує підвищення ефективності знезараження та надійність роботи установки.

Отримані результати можуть бути використані при розробленні та оптимізації компактних автономних пристроїв очищення води, орієнтованих на роботу в умовах обмежених ресурсів, а також слугують основою для подальших досліджень синергії озонування та ультрафіолетового випромінювання.

Список літератури

1. Vyshnevskiy V., Shevchuk S. The destruction of the Kakhovka dam and the future of the Kakhovske reservoir. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81. № 1. P. 275.
2. Hapich H., Zahrytsenko A., Sudakov A., Pavlychenko A., Yurchenko S., Sudakova D., Chushkina I. Prospects of alternative water supply for the population of Ukraine during wartime and post-war reconstruction. *International Journal of Environmental Studies*. 2024. Vol. 81. № 1. P. 289.
3. Кануннікова Н. О., Гайдучок О. Г., Томашевський Р. С., Воробійов Б. В., Князєва Г. О., Сакун А. О., Шестопапов О. В. Сучасний стан водних ресурсів басейну Дніпра у порівнянні з річками інших країн. *Український журнал природничих наук*. 2024. №9. С.314.
4. Шестопапов О.В., Сакун А.О., Лізантан П.С., Кануннікова Н.О., Гайдучок О.Г., Томашевський Р.С., Воробійов Б.В. Аналіз показників якості води: сучасні аспекти і виклики. *Науково-практичний журнал "Екологічні науки"*. 2024. № 3(54). С. 76. doi: 10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.10.
5. Pang Hongjiao, Zhang Jianhua, Allinson Mayumi, Gray Stephen, Scales J. Peter. A chemical credit framework to predict the removal performance of organic chemicals of concern from water through an ozonation process. *Water Research*. 2023. Vol. 232. P. 119761. doi: 10.1016/j.watres.2023.119761.
6. Swizbin J. Delivering results with mobile water treatment units *Filtration and Separation*. 2017. P. 1882/17, 0015.
7. Schlosser O. Bacterial removal from inexpensive portable water treatment systems for travelers. *Journal of Travel Medicine*. 2001. Vol. 8. P. 12.
8. Haiduchok O., Kanunnikova N., Sakun A., Tomashevskiy R., Vorobiov B. Prospective technologies of water purification and disinfection for safe human consumption. *The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life: collective monograph*. 2024. P. 230.
9. Gottshalk C., Libra J. A., Saupé A. *Ozonation of Water and Waste Water. A Practical Guide to Understanding Ozone and its Applications*. 2010. 369 p.
10. Bondar S., Shevchenko O., Chabanova O., Trubnikova A., Kuznetsova I. Research of ozonation process of the biologically pre-purified municipal wastewater. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*. 2022. Vol. 24. P. 98. doi: 10.32718/nvlvet-f9804.
11. Suna Bo, Wanga Yu, Xianga Yingying, Shanga Chii Influence of pre-ozonation of DOM on micropollutant abatement by UV-based advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. Vol. 391. P. 122201. doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122201.

12. Zakharov V., Ustinov O., Zmievskii Yu, Myronchuk V. Application of the naive bayes classifier for calculation and prediction of ozonation processes. *Scientific Works of NUFT* 2018. 2018. Vol. 24. P. 91. doi: 10.24263/2225-2924-2018-24-5-12.
13. Rong Yunze, Wang Xiaodong, Zhu Ming, Chen Wei, Maletskiy Zakhar, Ratnaweera Harsha, Bi Xuejun Real-time ozonation monitoring and control in wastewater tertiary treatment: An ultraviolet-visible monitoring approach. *Journal of Water Process Engineering*. 2024. Vol. 64. P. 105664. doi: 10.1016/j.jpwe.2024.105664.
14. Adamski W., Wiśniewski J., Wolska M. Assessment of the ozonation impact on adsorption efficiency in surface water treatment. *Environment Protection Engineering*. 2023. Vol. 49. P. 95.
15. Berry J. M., Taylor C. M., King W., Chew Y. M. J., Wenk J. Modelling of ozone mass-transfer through non-porous membranes for water treatment. *Water*. 2017. Vol. 9. P. 452. doi: 10.3390/w9070452.

References (transliterated)

1. Vyshnevskiy V., Shevchuk S. The destruction of the Kakhovka dam and the future of the Kakhovske reservoir. *International Journal of Environmental Studies*, 2024, vol. 81, 1, pp. 275.
2. Hapich H., Zahrytsenko A., Sudakov A., Pavlychenko A., Yurchenko S., Sudakova D., Chushkina I. Prospects of alternative water supply for the population of Ukraine during wartime and post-war reconstruction. *International Journal of Environmental Studies*, 2024, vol. 81, 1, pp. 289.
3. Kanunnikova, N. O., Haiduchok, O. G., Tomashevskiy, R. S., Vorobiov, B. V., Kniazieva, H. O., Sakun, A. O., Shestopalov, O. V. The current state of water resources in the Dnipro basin compared to other countries. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 2024, vol. 9, pp. 314, doi: 10.32782/naturaljournal.9.2024.32.
4. Shestopalov O. V., Sakun A. O., Lizantan P. S., Kanunnikova N. O., et. al. Analiz pokaznykiv yakosti vody: suchasni aspekty i vyklyky [Analysis of water quality indicators: contemporary aspects and challenges]. *Ecological Sciences*, 2024, vol. 3 (54), pp. 76, doi: 10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.10.
5. Pang Hongjiao, Zhang Jianhua, Allinson Mayumi, Gray Stephen, Scales J. Peter. A chemical credit framework to predict the removal performance of organic chemicals of concern from water through an ozonation process. *Water Research*, 2023, vol. 232, pp. 119761, doi: 10.1016/j.watres.2023.119761.
6. Swizbin J. Delivering results with mobile water treatment units *Filtration and Separation*, 2017, pp. 1882/17, 0015.
7. Schlosser O. Bacterial removal from inexpensive portable water treatment systems for travelers. *Journal of Travel Medicine*, 2001, vol. 8, pp. 12.
8. Haiduchok O., Kanunnikova N., Sakun A., Tomashevskiy R., Vorobiov B. Prospective technologies of water purification and disinfection for safe human consumption. *The development of technical, agricultural and applied sciences as the main factor in improving life: collective monograph*, 2024, pp. 230.
9. Gottshalk C., Libra J. A., Saupé A. *Ozonation of Water and Waste Water. A Practical Guide to Understanding Ozone and its Applications*. 2010. 369 p.
10. Bondar S., Shevchenko O., Chabanova O., Trubnikova A., Kuznetsova I. Research of ozonation process of the biologically pre-purified municipal wastewater. *Scientific*

- Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 2022, vol. 24, pp. 98, doi: 10.32718/nvlvet-f9804.
11. Suna Bo, Wanga Yu, Xianga Yingying, Shanga Chii Influence of pre-ozonation of DOM on micropollutant abatement by UV-based advanced oxidation processes. *Journal of Hazardous Materials*, 2020, vol. 391, pp. 122201, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.122201.
 12. Zakharov V., Ustinov O., Zmievskii Yu, Myronchuk V. Application of the naive bayes classifier for calculation and prediction of ozonation processes. *Scientific Works of NUFT* 2018, 2018, vol. 24, pp. 91, doi: 10.24263/2225-2924-2018-24-5-12.
 13. Rong Yunze, Wang Xiaodong, Zhu Ming, Chen Wei, Maletskiy Zakhar, Ratnaweera Harsha, Bi Xuejun Real-time ozonation monitoring and control in wastewater tertiary treatment: An ultraviolet-visible monitoring approach. *Journal of Water Process Engineering*, 2024, vol. 64, pp. 105664, doi: 10.1016/j.jwpe.2024.105664.
 14. Adamski W., Wiśniewski J., Wolska M. Assessment of the ozonation impact on adsorption efficiency in surface water treatment. *Environment Protection Engineering*, 2023, vol. 49, pp. 95.
 15. Berry J. M., Taylor C. M., King W., Chew Y. M. J., Wenk J. Modelling of ozone mass-transfer through non-porous membranes for water treatment. *Water*, 2017, vol. 9, pp. 452, doi: 10.3390/w9070452.

Відомості про авторів (About authors)

Лізанта П. С. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», магістр кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія»; м. Харків, Україна; ORCID: 0009-0000-8904-8374; e-mail: polina.lizantan@mit.khpi.edu.ua.

Lizantan Polina – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", master of the department of chemical engineering and industrial ecology, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0000-8904-8374; e-mail: polina.lizantan@mit.khpi.edu.ua

Сакун Антоніна Олегівна – доктор філософії, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри хімічної техніки та промислової екології; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-1079-7856; e-mail: antonina.sakun@khpi.edu.ua

Sakun Antonina – Ph.D., Assoc. Prof., Associate Professor, department of chemical engineering and industrial ecology, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0002-1079-7856; e-mail: antonina.sakun@khpi.edu.ua

Гайдучок Олександр Григорович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод; м. Харків, Україна; 0000-0003-3139-9061; e-mail: oleksandr.haiduchok@kname.edu.ua.

Haiduchok Oleksandr – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Associate Professor, department of water and wastewater engineering, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0000-0003-3139-9061; e-mail: oleksandr.haiduchok@kname.edu.ua

Лукашенко Сергій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, доцент кафедри водопостачання, водовідведення і очищення вод, м. Харків, Україна; 0009-0001-2052-1183; e-mail: serhii.lukashenko@kname.edu.ua.

Lukashenko Sergiy – Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Associate Professor, department of water and wastewater engineering, O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv, Ukraine; ORCID: 0009-0001-2052-1183; e-mail: serhii.lukashenko@kname.edu.ua.

Томашевський Роман Сергійович – доктор технічних наук, професор, в.о. ректора Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна; 0000-0002-5278-9272; e-mail: roman.tomashevskiy@khpi.edu.ua.

Tomashevskiy Roman – D.Sc., Prof., Associate Professor Acting Rector, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine; ORCID: 0000-0002-5278-9272; e-mail: roman.tomashevskiy@khpi.edu.ua.

Воробйов Богдан Віталійович – доктор філософії, доцент, Проректор з наукової роботи, управління розвитком та міжнародних зв'язків Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна; 0000-0002-0264-354X; e-mail: bohdan.vorobiov@khpi.edu.ua

Vorobiov Bohdan – Ph.D., Assoc. Prof., Vice-rector for research, development management, and international relations, Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine; 0000-0002-0264-354X; e-mail: bohdan.vorobiov@khpi.edu.ua

Будь ласка, посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Лізанта П. С., Сакун А. О., Гайдучок О. Г., Лукашенко С. В., Томашевський Р. С., Воробйов Б. В. Експериментальне дослідження процесу знезараження води озонуванням для компактних систем очищення. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2026. № 1 (27). С. 107-113. doi:10.20998/2413-4295.2026.01.14.

Please cite this article as:

Lizantan P., Sakun A., Haiduchok O., Lukashenko S., Tomashevskiy R., Vorobiov B. Experimental study of water disinfection by ozonation for compact water treatment systems. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2026, no. 1(27), pp. 107–113, doi:10.20998/2413-4295.2026.01.14.

Надійшла (received) 04.02.2026
Прийнята (accepted) 18.03.2026
Опублікована (published) 02.04.2026