

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-361-2>

УДК 628.16:534.83

ШЕВЧУК ЛІЛІЯ

Національний університет «Львівська політехніка» м. Львів, Україна

<http://orcid.org/0000-0001-6274-0256>

e-mail: Liliia.i.shevchuk@lpnu.ua

КОВАЛИШИН ВІТАЛІЙ

Національний університет «Львівська політехніка» м. Львів, Україна

<http://orcid.org/0009-0004-5320-5488>

e-mail: vitalii.r.kovalyshyn@lpnu.ua

АФТАНАЗІВ ІВАН

Національний університет «Львівська політехніка» м. Львів, Україна

<http://orcid.org/0000-0003-3484-7966>

e-mail: ivan.aftanaziv@gmail.com

СТРОГАН ОРІСЯ

Національний університет «Львівська політехніка» м. Львів, Україна

<http://orcid.org/0000-0002-1790-6736>

e-mail: orysia.i.strohan@lpnu.ua

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ХІМІЧНИХ ТА БІОЛОГІЧНИХ ЗАБРУДНЕНЬ КАВІТАЦІЙНОЮ ОБРОБКОЮ

Приведено результати теоретико-експериментального дослідження впливу кавітаційної обробки природної та питної води на її очищення від хімічних та біологічних забруднень. Встановлено, що гідродинамічна кавітаційна обробка природної води впродовж 8-10 хвилин сприяє інактивації патогенної флори цієї води. Зокрема на 25-30% понижує вміст у ній ентерококів, на 75-80% понижує у пробах води вміст лактозопозитивних кишкових паличок, а також на 90% вміст кишкової палички *E.coli*.

Доведено, що кавітаційне знезараження природної води спроможне інактивувати значну кількість різновидів наявних в ній мікроорганізмів, а також на 25-30% понизити загальне мікробне число, і зменшити чисельність шкідливих *E. coli* та *Str. Faecalis*. Розраховані ступені руйнування органічних сполук (80%-85%) у природних водах підтверджують доцільність застосування кавітації для процесів очищення води.

Для здійснення кавітаційної обробки води в побутових умовах запропонована конструктивна схема вібраційного віброрезонансного низькочастотного кавітатора, що належить до кагорти пристроїв гідродинамічної кавітаційної обробки рідин. Об'єм його резервуару для заповнення оброблюваною питною водою становить біля 100 дм³. Експериментально визначено оптимальні режими вібрації його дискових збурювачів кавітації, які знаходяться в межах частоти коливань 37-40 Гц та амплітуди коливань 0,5-0,75 мм.

Даний кавітаційний пристрій для знезаражувальної обробки питної води спроможний забезпечувати її обробку як дискретно з продуктивністю 100 літрів води за 10 хвилин неперервної роботи, так і в режимі неперервної подачі питної води на знезаражувальну обробку з продуктивність 60 дм³/год. Вібропривід даного очищувального побутового пристрою живиться від стандартної електричної мережі напругою 220 В.

Ключові слова: вода, очищення, кавітація, забруднення, вібрації, амплітуда, частота, ступінь очищення.

SHEVCHUK LILIA, KOVALYSHYN VITALIY, AFTANAZIV IVAN, STROHAN ORISYA

National University "Lviv Polytechnic" Lviv, Ukraine

INTENSIFICATION OF WATER PURIFICATION PROCESSES FROM CHEMICAL AND BIOLOGICAL CONTAMINATIONS BY CAVITATION TREATMENT

The results of a theoretical and experimental study of the effect of cavitation treatment of natural and drinking water on its disinfection from biological contaminants are presented. It was established that hydrodynamic cavitation treatment of natural water for 8-10 minutes contributes to the inactivation of pathogenic flora of this water. In particular, it reduces the content of enterococci in it by 25-30%, reduces the content of lactose-positive *E. coli* in water samples by 75-80%, and also reduces the content of *E. coli* by 90%.

It has been proven that cavitation disinfection of natural water is capable of inactivating a significant number of varieties of microorganisms present in it, as well as reducing the total microbial number by 25-30%, and reducing the number of harmful *E. coli* and *Str. Faecalis*. The calculated rates of destruction of organic compounds (80%-85%) in natural waters confirm the feasibility of using cavitation for water purification processes. For cavitation water treatment in domestic conditions, a design scheme of a vibrational vibro-resonant low-frequency cavitator, which belongs to the cohort of devices for hydrodynamic cavitation treatment of liquids, has been proposed. The volume of its tank for filling with treated drinking water is about 100 liters. The optimal vibration modes of its disk cavitation agitators, which are within the oscillation frequency of 37-40 Hz and the oscillation amplitude of 0.5-0.75 mm, have been experimentally determined.

This cavitation device for disinfecting drinking water is capable of providing its treatment both discretely with a capacity of 100 liters of water for 10 minutes of continuous operation, and in the mode of continuous supply of drinking water for disinfection treatment with a capacity of 60 l/h. The vibration drive of this household cleaning device is powered by a standard electrical network with a voltage of 220 V.

Keywords: water, cleaning, cavitation, contamination, vibrations, amplitude, frequency, degree of cleaning.

Стаття надійшла до редакції / Received 12.12.2025

Прийнята до друку / Accepted 13.01.2026

Опубліковано / Published 29.01.2026



This is an Open Access article distributed under the terms of the [Creative Commons CC-BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

© Шевчук Лілія, Ковалишин Віталій, Афтаназів Іван, Строган Орісія

Вступ

Із поміж сотень страждань, проблем і негараздів, що випали на долю мешканців України під час їх

воєнного протистояння варварській агресії армії росії, невпинно насувається ще одна екологічна загроза, обумовлена недостатньою кількістю якісної питної води. Станом на жовтень 2025 року цю проблему вже гостро відчували мешканці окупованих територій Донеччини, де через зруйновані артилерійськими обстрілами ворога водозабори та водопровідні магістралі мешканцям багато чисельних міст та містечок доводиться користуватись переважно низькоякісною привозною водою. Не оминула ця проблема і жителів Запорізької та Херсонської областей, для яких через руйнацію ворогом дамби Каховської гідроелектростанції та обумовлене цим стрімке пониження рівня води у водосховищі, водозбірні пристрої водомерж виявились на суші та неспроможними для набору води. Щоденні дрони та ракетно-бомбові удари ворога по об'єктах інфраструктури та енергетики по усіх без винятку областях України теж через знеструмлення унеможливають стабільну роботу обладнання водоочисних станцій. Це теж негативно впливає на стабільність подачі її споживачам.

Виробничі установи та підприємства, маючи можливість накопичення запасів води у спеціально облаштованих для цього резервуарах, меншою мірою страдають від нестачі та нестабільності подачі води. А для мешканців міст та великих населених пунктів ця нестабільність у подачі води становить не лише незручності у побуті, а і відчутну загрозу їх здоров'ю. Оскільки, застоювана вода у бутлях та у різноманітній непродизинфікованій тарі під впливом світла і тепла є причиною розмноження водоростей та бактерій, які змінюють органо-лептичні та фізико-хімічні властивості води. Вживання води з низькими якісними показниками здатне спричинити розвиток небезпечних інфекційних процесів і довготривалих хронічних хвороб.

Тому можна стверджувати, що існує велика потреба у розробці, дослідженні та створенні компактних енергоощадних побутових пристроїв для якісного очищення води від хімічних та біологічних забруднень. Таких водоочисних пристроїв, які придатні до використання як у побутових умовах мирного населення, так і у складних польових умовах військовослужбовців, мандрівників, геологорозвідників тощо.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Проблематиці очищення питної води завжди приділялася підвищена увага як науковців-дослідників, так і виробників очисного устаткування, враховуючи те, що саме питна вода є найнеобхідніша речовина для життя людей та тварин. І саме її якістю обумовлена і якість продуктів споживання, і якість санітарно-гігієнічного побуту людей. Під терміном «питна вода» ми розуміємо воду, яку споживачам спрямовують міськими водопостачальними мережами чи, у приватному секторі, воду, що індивідуально видобута із артезіанських свердловин чи з доволі розповсюджених у сільській місцевості колодязів. Переважно питну воду міських мереж піддають на водоочисних станціях хімічній та біологічній дезінфекції. Однак при тривалому її зберіганні, та ще і у літні періоди року, ця вода все ж псується, через негерметичну тару або умови, що сприяють росту мікроорганізмів.

У загальному методи очищення питної води поділяють на три групи, а саме хімічні [1,2], фізичні [3,4] та механічні [5,6]. Кожен з цих методів має як свої переваги, так і певні недоліки в сфері побутового застосування. Так механічні методи очищення питної води при пропусканні її через різноманітні фільтри - це лише початковий етап її очищення, який в подальшому потребує наступних стадій очищення.

Хімічні методи водоочиснення передбачають застосування спеціальних реагентів для нейтралізації та видалення шкідливих домішок. І чи не найвідомішим та найбільш розповсюдженим серед них був і залишається метод хлорування, який має суттєвий недолік, зокрема утворення шкідливих побічних продуктів. Обробка води перманганатом калію, будучи високо ефективним до біологічного знезараження води та видалення сполук заліза, є доволі простим у застосуванні, однак цей метод у сьогоденні немає широкого застосування [7,8].

Група фізичних методів очищення води ґрунтується на впливі на її молекули тих, чи інших фізичних явищ. Наприклад, електроіскрового розряду [9], потужного перемінного магнітного поля [10], ультразвуку [11,12] тощо. За забезпеченою якістю очищення питної води від біологічних забруднювачів та коефіцієнтом корисної дії чільне місце в когорті фізичних методів заслужено підлягає ультразвукова кавітаційна обробка [13,14]. Цей ефективний метод очищення води ґрунтується на збуренні у воді кавітаційних явищ, які поряд із фізичним впливом на структурну будову молекул, формують сферичну ударну хвилю, що поширюється у рідині [13]. Сформовані кавітацією в товщі забрудненої води мікробульбашки при їх сплескуванні формують в мікрооб'ємах води інтенсивне енергетичне поле, яке сприяє формуванню в оброблюваній воді хімічно активних гідроксильного ($\bullet\text{OH}$) та гідропероксильного ($\text{HO}_2\bullet$) радикалів. Взаємодіючи із клітинною стінкою мікроорганізмів ці хімічно-активні радикали руйнують її, а також сприяють ініціюванню й прискоренню хімічних реакцій, зокрема деструкції органічних сполук. Ці вільні радикали відіграють вирішальну роль у процесах окиснення органічних речовин. Температура та тиск є ключовими факторами, що визначають характер кавітаційного процесу, його ефективність та швидкість окиснення. Ступінь очищення води при цьому сягає високих 75-80% [14]. Однак стандартні пристрої збурення ультразвукової кавітації у водному середовищі доволі громіздкі та енергозатратні, що унеможливило їх використання як в побутових, так і в польових умовах [15].

Таким чином доводиться константувати, що не зважаючи на доволі широке розмаїття у сьогоденні методів та методик очищення питної води від органічних та мікробіологічних забруднень, досконалих і ефективних пристроїв для їх реалізації в побутових умовах все ще не створено.

Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є розробка і дослідження малогабаритного пристрою кавітаційного очищення питної води від хімічних та біологічних забруднень, придатного для застосування в побуті громадян та в природних умовах.

У задачі дослідження входили:

- експериментальне дослідження впливу режимів кавітаційної обробки води на ступінь її очищення від хімічних та біологічних забруднень;
- розробка принципової схеми побутового віброрезонансного пристрою для кавітаційного очищення води від хімічних та біологічних забруднень.

Основним **об'єктом дослідження** були класичні методи очищення природної, питної води від хімічних та біологічних забруднень, а також спроможність та ефективність застосування кавітаційних явищ та процесів для підвищення ступеня очищення питної води.

Предметом дослідження було кавітаційне устаткування для очищення питної води та дослідження спроможності застосування для цього очисного процесу низькочастотних віброрезонансних кавітаторів.

Методи дослідження. При проведенні теоретико-експериментальних досліджень використовувались методи та методики фізичного і математичного моделювання швидкоплинних процесів, а також математичної статистики аналізу та класифікації їх результатів. У основі експериментального дослідження було застосовано основні положення теорії та практики використання математичного апарату багатofакторного експерименту для оптимізації технологічних процесів кавітаційного очищення води від хімічних та біологічних забруднень.

Основні результати дослідження

Експериментальні дослідження спроможності та ефективності застосування низькочастотної віброрезонансної кавітації для очищення питної води від хімічних та біологічних забруднень здійснювали на дослідній віброрезонансній установці, відображеній на *рис.1*. Основними елементами цієї дослідної установки є наповнюваний досліджуваною рідиною вертикально розташований циліндричний резервуар 4 із напівною кришкою 3 та основою кавітатора 6, що закріплений в корпусі 2, на якому встановлений низькочастотний вібропривід 1. Вібропривід містить статор та пружно встановлений над ним якір, шток якого із закріпленими на ньому дисковими збурювачами гідродинамічної кавітації 5 занурено у резервуар із оброблюваною рідиною.

На дискових збурювачах кавітації щільно розташовані конічні отвори, крізь які при інтенсивних осьових коливаннях якоря віброприводу перетікають струмені оброблюваної рідини із швидкістю, що рівна

$$v_p = A \cdot \omega = A \cdot 2\pi f,$$

де A - амплітуда коливань дискових збурювачів кавітації,

ω - кругова частота їх коливань,

f - частота коливань збурювачів кавітації.

При амплітудах коливань дискових збурювачів кавітації в діапазоні $A=0,5-1,0$ мм та їх частоті, рівній $f=24$ Гц швидкість зворотно-поступальних переміщень (перетікань) мікроструменів оброблюваної рідини через конічні отвори збурювачів кавітації сягає $v_p=75,4-150,8$ мм/с. Така висока швидкість перетікань рідини крізь конічні отвори незначного (в межах $d=2,0-2,5$ мм) діаметру збурює в рідині інтенсивні турбулентні потоки, які, своєю чергою, із молекул розчинених у рідині газів формують кавітаційні мікробульбашки. Тривалість «життєвого циклу» окремо взятої мікробульбашки лише долі мікросекунд. Та сплескування одних мікробульбашок продовжує у геометричній прогресії появу інших, формуючи тим самим в оброблюваній рідині хімічно активну кавітаційну зону. Кавітаційну зону, якій притаманний не лише підвищений енергетичний рівень, а і процеси утворення вільних хімічно активних гідроксильного ($\bullet\text{OH}$) та гідропероксильного ($\text{HO}_2\bullet$) радикалів високої окисної спроможності.

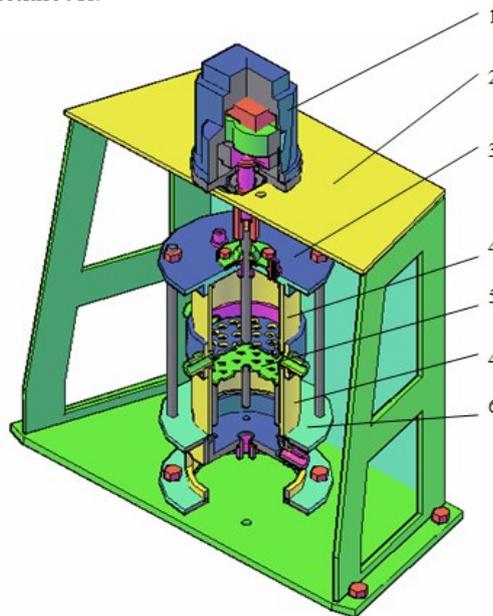


Рис.1. Модель приладу для експериментального дослідження впливу технологічних параметрів кавітаційного очищення води на показники якості її очисної обробки:

1 - електропривід; 2 – корпус; 3 – кришка кавітатора; 4 – прозора стінка; 5 – дека-збурювач кавітації; 6 – основа кавітатора

Джерело: розроблено авторами

Окиснюючі наявні домішки в оброблюваній рідині ці радикали сприяють руйнуванню органічних сполук та знезараженню води.

У схемі електричного живлення віброприводу встановлено регулятор частоти перемінної напруги моделі *AFC-120*, який забезпечує зміну частоти коливань пружно встановленого якоря віброприводу, а відповідно і закріплених на його штоку дискових збурювачів кавітації, в діапазоні від 20 до 100Гц. Цим забезпечується зміна швидкості перетікання мікроструменів оброблюваної рідини крізь отвори дискових збурювачів кавітації в інтервалі від 125,6 мм/с до 628 мм/с, що надає можливість регулювання та оптимізації інтенсивності кавітаційного поля в струменях оброблюваної рідини [15,16]. Експериментальна дослідна установка передбачає спроможність кавітаційної обробки рідин як у замкнутому їх об'ємі, так і в режимі неперервного потоку із регульованими і однаковими режимами подачі та відведення кавітаційно обробленої води (рідини).

У проведених на даній дослідній установці дослідженнях вивчали вплив технологічних параметрів низькочастотної віброрезонансної кавітації та тривалості кавітаційної обробки води на ступінь її забруднення хімічними та біологічними забруднювачами. У якості досліджуваної води використовувалась природна вода озера Наварія, розташованого у Львівській області, та забруднені різними біологічними домішками експериментальні зразки на основі дистильованої води. Ступінь забруднення досліджуваної води до і після її кавітаційного очищення визначали за параметром її хімічного споживання кисню (ХСК) та результатами розрахунку даних мікробіологічного посіву.

Особливо яскраво ефективність кавітаційної знезаражувальної обробки проявила себе на знезаражувальній обробці природної води, проби якої було взято із озера Наварія у Львівській обл. Експериментально було встановлено, що кавітаційна знезаражувальна обробка проб цієї води впродовж 8-10 хвилин на дослідному віброрезонансному кавітаторі (рис.1) при амплітуді коливань збурювачів кавітації 0.5-0,75 мм та їх частоті коливань в діапазоні 37-40 Гц ефективно сприяє інактивації патогенної флори цієї води. Зокрема на 25-30% знижує вміст у ній ентерококів, на

75-80% знижує у пробах води вміст лактозопозитивних кишкових паличок, а також на 90% вміст кишкової палички *E.coli*. Розраховані ступені руйнування органічних сполук (80%-85%) у природній воді підтверджують доцільність застосування віброкавітації для процесів очищення. Та все ж слід визнати, що не зважаючи на спроможність кавітаційного знезараження природної води інактивувати значну кількість різновидів мікроорганізмів, не тільки суттєво понизити загальне мікробне число, а і зменшити чисельність шкідливих *E.coli* та *Str. Faecalis*, цю воду без хімічного знезараження та супутньої їй високотемпературної обробки використовувати для приготування їжі та напоїв не рекомендується.

На підставі даних експериментального дослідження впливу технологічних параметрів кавітації на ступінь очищення експериментальної та природної води від біологічного забруднення розроблено технологічну схему побутового очищувального пристрою для знезараження питної води. Його технологічна схема відображена на рис.2.

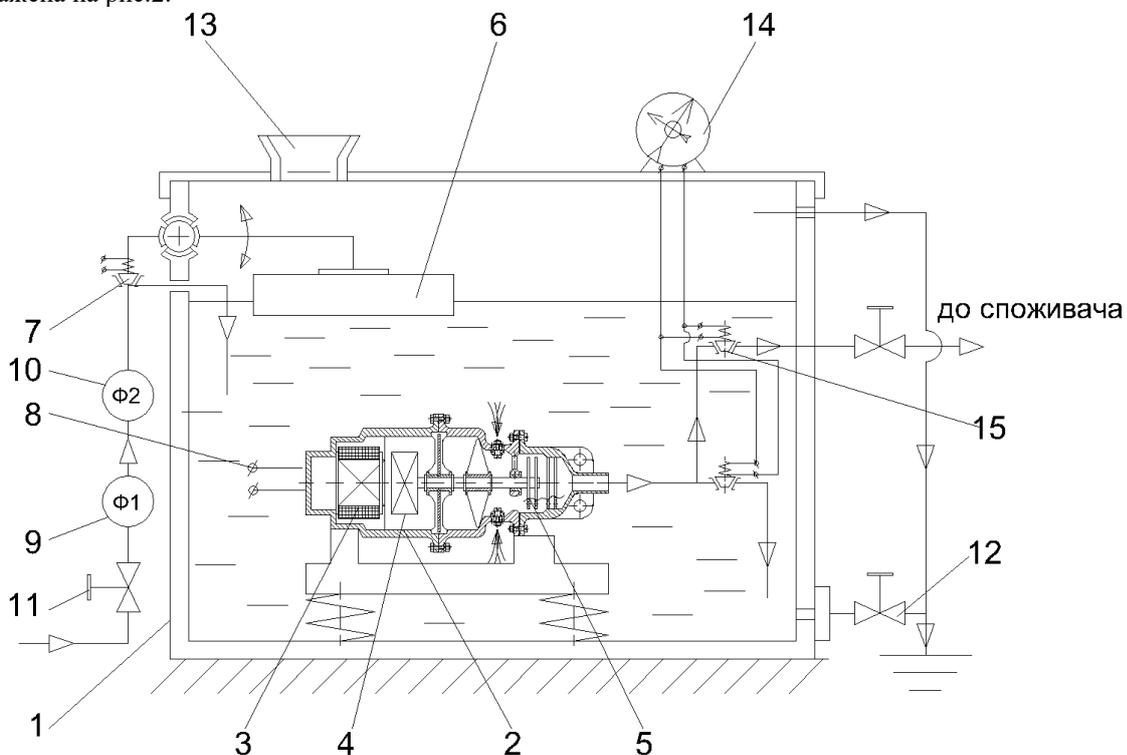


Рис.2. Технологічна схема побутового кавітаційного пристрою для очищення питної води від хімічних та біологічних забруднень
Джерело: розроблено авторами

Основним елементом цього кавітаційного очищувача питної води є пружно встановлений на днищі резервуару 1 вібраційний насос-кавітатор 2 із статором 3 та якорем 4 віброприводу. На штоку пружно встановленого якоря 4 закріплено пронизані конічними отворами дискові збурювачі кавітації, осьові плоско-паралельні коливання яких формують в оброблювальній воді турбулентні мікрострумені, що насичені кавітаційними мікробульбашками. Для відслідковування рівня наповнення резервуару оброблюваною водою встановлено поплавковий давач 6, який клапаном 7 перекидає подачу води у резервуар 1 при повному його наповненні і контактною електричною групою 8 відмикає подачу напруги на вібропривід 2 при пониженні рівня води нижче забірної клапана вібронасоса.

Для попередньої підготовки очищуваної води зовні резервуару 1 встановлені фільтр грубої очистки води від механічних домішок 9 та войлочний фільтр 10 її очищення від дрібнозернистих включень, а також кран 11 подачі та перекриття доступу води в резервуар 1. Для аварійного зливу води з резервуару та промивання осілого на днищі резервуару осаду передбачено зливний кран 12, а для захисту від аварійного переливу води через верхній край та кришку резервуару - переливний отвір, що з'єднаний із мережею водовідведення.

В умовах побутового застосування даний очисний кавітаційний пристрій може бути підєднаним до мережі водопостачання, а у випадку використання в природніх умовах його заповнюють водою через передбачену для цього на кришці резервуару заливну горловину 13. Для зручності експлуатації пристрій доречно оснастити блоком електричного керування, який може включати кнопки запуску та зупинки роботи вібраційного насоса-кавітатора, сигнальні лампочки рівнів води та перемикання режимів роботи, електричний таймер 14 перемикання режимів роботи із електроклапаном 15 спрямовування потоку води або на очищувальну обробку, або очищеної води в ємності споживача.

Умовами експлуатації кавітаційному пристрою для очищення води передбачено два режими роботи. Перший передбачає наповнення резервуару водою, що підлягає очищенню, і залежно від об'єму води в резервуарі запуск на 3-5 хвилин таймером 14 вібропривода насоса-кавітатора 2. Електроклапан 15 перемикає напрям подачі води при цьому спрямовує воду на циркуляцію всередині резервуару 1, багаторазово піддаючи її кавітаційній обробці. Залежно від об'єму наявної в резервуарі 1 води після 3 чи 5 хвилин її знезаражувальної обробки режим роботи перемикається електроклапаном 15 на подачу води споживачу якщо відкрито відвідний кран 16 подачі очищеної води.

Другий режим роботи передбачає неперервну подачу води із водопровідної мережі в резервуар 1, безперебійну роботу вібраційного насоса-кавітатора та сталі відведення води в накопичувальні ємності чи мережу споживача. Обсяг наявної оброблюваної води в резервуарі при цьому відслідковується поплавковим давачем 6, а обсяги відведеної з резервуару очищеної води та, відповідно, і тривалість циклів її повторної очисної обробки регулюються відповідним краном-дроселем 16 відводу очищеної води.

Джерелами електричного живлення віброприводу насос-кавітатора, супутніх йому електроприладів та індикаторів в умовах побутового використання слугує стаціонарна мережа електропостачання, а в природних умовах – різноманітні генератори перемінної напруги чи акумулятори із перетворювачами вихідної напруги на перемінну напругу 220В [18,19].

На відміну від ультразвукових генераторів пристрої для збурення гідродинамічної кавітації, як обертовими лопатями [15], так і вібруючими дисковими збурювачами кавітації, прості та надійні за конструктивною будовою, малогабаритні, а основне, суттєво дешевші. Саме тому запропонована конструкція вібраційного кавітаційного очищувача питної води при своїх габаритних розмірах 0,5х0,5х0,5м з об'ємом заповнення оброблюваної води в межах 100 дм³ має перспективи широкого побутового застосування.

У протічному режимі роботи продуктивність запропонованого кавітаційного пристрою для очищення води від біологічного забруднення сягає 1,0-1,2 м³/год, що повною мірою вдовільняє потреби побутового та польового його використання. А продуктивність запропонованого обладнання для кавітаційного очищення питної води при одноразовому заповненні його резервуару обсягом 100 дм³ становить лише 5-6 хвилин.

Обговорення результатів дослідження

Автори відзначають, що як вітчизняними [14, 15, 17], так і зарубіжними [11] дослідниками переконливо теоретично та практично доведена благодатна очищувальна дія ультразвукової та гідродинамічної кавітації як на природну, так і на питну воду. Однак, зручних у побутовому використанні, продуктивних та енергоощадних кавітаційних пристроїв для хімічного та біологічного знезараження питної води створено так і не було.

Найвагомішим результатом даного експериментального дослідження є, на нашу думку, переконливе підтвердження спроможності застосування гідродинамічної кавітації для якісного і високо продуктивного очищення питної води від хімічних та біологічних забруднень. На відміну від добре відомого та ґрунтовно дослідженого методу ультразвукового очищення водних розчинів, запропоноване підвищення якості питної води гідродинамічною її кавітаційною обробкою вигідно відрізняється не лише високою продуктивністю очисного процесу, а і дешевизною та доступністю використовуваного для цього процесу обладнання та устаткування. Генератори для збурення в рідинах ультразвукових коливань та випромінювань не лише енерговитратні, а і великогабаритні за своїми розмірами, ще і недостатньо надійні в експлуатації, до того ж доволі вартісні. Через свої великі габарити та суттєву вартість і високий рівень енерговитрат про використання ультразвукових пристроїв очищення води в побутових умовах, поки що економічно не доцільно.

Загально визнано, що пристрої для збурення гідродинамічної кавітації, як обертовими лопатями [15], так і вібруючими дисковими збурювачами кавітації, суттєво дешевші, малогабаритні, прості та надійні за

конструктивною будовою. Усе це вигідно відрізняє їх від ультразвукових генераторів. До того ж вартість такого побутового очищувача води в цінах 2025 року цілком може обмежитися 1,5-2 тисячами гривень, що цілком доступне для середньостатистичного споживача.

Ще одною із вагомих переваг кавітаційної знезаражувальної обробки води є її спроможність до тривалого у часі збереження набутих обробкою позитивних властивостей та якостей. Звичайно, за умов належного її зберігання, тобто при понижених температурах та без доступу повітря. Це підтверджено експериментально і ґрунтовно описано у роботах [15,16].

Висновки

1. Із відомих методів очищення води від хімічних та біологічних забруднень на даний час найперспективнішим для побутового застосування вважається метод кавітаційної очисної обробки, що належить до групи фізичних методів очищення води. Однак розповсюджена у сьогоденні ультразвукова кавітаційна обробка рідин через вартість, великі енергоспоживання та габаритні розміри виявилась не придатною до використання в польових та побутових умовах.
2. Експериментальними дослідженнями встановлено, що поряд із ультразвуковою і гідродинамічною кавітаційною обробкою біологічно забрудненої води спроможна забезпечити високий в межах 75-80% ступінь очищення питної води від біологічного забруднення. Найефективнішим із когорти обладнання для гідродинамічної обробки питної води виявилось низькочастотне віброрезонансне кавітаційне устаткування, яке спроможне, поряд із високим ступенем очищення води від біологічного забруднення, забезпечити і відчутне (до 80% - 85%) руйнування органічних сполук, що свідчить про суттєве покращення її якості.
3. Основним елементом запропонованого устаткування для побутового очищення питної води є вдосконалений стандартний вібраційний насос, наприклад, моделі ВН-400 «Нептун», що виготовляється промисловістю України і широко використовується мешканцями для подачі води із колодязів. Для збурення кавітаційного поля у струменях поданої насосом води його оснащено блоком дискових коливних збурювачів кавітації.
4. Продуктивність запропонованого кавітаційного обладнання для кавітаційного очищення питної води одноразового заповнення його резервуару обсягом 100 дм³ становить лише 5-6 хвилин. У безперервному протічному режимі роботи вібраційного насос-кавітатора його продуктивність сягає 1,0-1,2 м³/год, що повною мірою вдовільняє потреби побутового та польового його використання.

Література

1. Oliveira, I. M., Gomes, I. B., Simões, L. C., Simões, M. A review of research advances on disinfection strategies for biofilm control in drinking water distribution systems. *Water Research*, 2024, vol. 253, p. 121273. DOI: 10.1016/j.watres.2024.121273.
2. Зоріна О. В. Гігієнічна оцінка основних підходів до використання дезінфектантів на водопровідних станціях України з поверхневими джерелами питного водопостачання. *Гігієна населених місць*, 2025, № 76, с. 52–59.
3. Jia, J., Rui, M., Cheng, X., Liang, H. Application of ultrafiltration technology in drinking water industry of China: a comprehensive assessment of hybrid membrane processes. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 2023, Vol. 72, No. 12, pp. 2408-2421. DOI: 10.2166/aqua.2023.215.
4. Тувоненко, А., Міщенко, Т., Номаніук, О., Васильук, С., Косогіна, І., Мудрик, Р. Виробництво фізіологічно повної питної води за допомогою модифікованих мембран зворотного осмосу. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2023, № 2 (10 (122)), с. 6-13. DOI:10.15587/1729-4061.2023.277491.
5. Jeje J. O. Study of Water Filtration Without Chemical Pre-Treatment. *International Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2023, Vol. 6, No. 1, pp. 1-9. DOI:10.52589/IJMCE-SOVVYJNI.
6. Болшак А., Паталашка Р., Гудім Н., Люц В., Шевчук О. Розробка високоефективних змінних фільтрів для очищення питної води на основі домашніх глечиків-фільтрів. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 2023, Vol. 34, No. 3, с. 10-21. DOI:10.20535/2218-930032022256741.
7. Qian, Y., Wang, J., Li, X., Yang, J., Zhang, J., & Wang, Z. Impact of permanganate with polyaluminium chloride on formation of disinfection by-products from algal organic matter in karst water // *Journal of Water Process Engineering*. – 2024. – Vol. 58. – Article 104568. – DOI: 10.1016/j.jwpe.2024.104568.
8. Зоріна О. В., Сурмашева О. В., Іванько О. М., Полька О. О., Маврикін Я. О. Аналіз підходів до оцінки та застосування дезінфектантів для питної води в Україні, країнах ЄС та НАТО // *Ukrainian Journal of Military Medicine*. – 2025. – Т. 6. – С. 48–57. – DOI: 10.46847/UJMM.2025.1(6)-048
9. Petrov O., Petrichenko S., Yushchishina A., Mitryasova O., Pohrebennyk V. Electrospray Method in Galvanic Wastewater Treatment for Heavy Metal Removal / O. Petrov, S. Petrichenko, A. Yushchishina, O. Mitryasova, V. Pohrebennyk // *Applied Sciences*. — 2020. — Vol. 10, No. 15. — Art. 5148. — DOI: 10.3390/app10155148.
10. Шатилович, Е., Скочко, І. Магнітне поле як допоміжний чинник фільтрації через різні фільтрувальні матеріали. // *Water*, 2019, т. 11, № 8, с. 1584.
11. Synergistic Piezo-Catalytic Inactivation of Bacteria by Dual-Frequency Ultrasound (120 + 1700 kHz) Using Persulfate and ZnO Nano- and Microparticles. *Water*, 2023, Vol. 15, No 16, Art. 2937. DOI:10.3390/w15162937.

12. Stepanova O., Tselen B., Sydorenko V., Obodovych O. Wastewater treatment using cavitation effects. *European Science*, 2023, sge20-02, pp. 35-42. DOI:10.30890/2709-2313.2023-20-02-014.
13. Луговський О. Ф., Мовчанюк А. В., Берник І. М., Шульга А. В., Гришко І. А., Зілінський А. І. Апаратне забезпечення ультразвукових кавітаційних технологій / О. Ф. Луговський, А. В. Мовчанюк, І. М. Берник, А. В. Шульга, І. А. Гришко, А. І. Зілінський. — Вінниця : ФОП Кушнір Ю. В., 2021. — 216 с.
14. Луговський О. Ф., Шульга А. В., Берник І. М., Гришко І. А., Мовчанюк А. В., Зілінський А. І. Ультразвукові технологічні процеси. Розпилення та екстрагування : монографія / О. Ф. Луговський, А. В. Шульга, І. М. Берник, І. А. Гришко, А. В. Мовчанюк, А. І. Зілінський. — Вінниця : ФОП Кушнір Ю. В., 2022. — 288 с.
15. Шевчук Л. І., Афтаназів І. С., Строган О. І., Старчевський В. Л. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори : монографія / Л. І. Шевчук, І. С. Афтаназів, О. І. Строган, В. Л. Старчевський. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. — 176 с.
16. Шевчук Л. І., Старчевський В. Л. Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти : монографія / Л. І. Шевчук, В. Л. Старчевський. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. — 375 с.
17. Aftanaziv I., Shevchuk L., Koval I. Z., Strutynska L., Strogan O., Smolarz A., Ormanbekova A., Begaliyeva K. *Electromagnetic vibratory cavitator*. *Przegląd elektrotechniczny*, Vol. 95, № 4 (2019).
18. Aftanaziv I., Shevchuk L., Malovanyu M., Strutynska L., Samsin I. *Cavitation-reagent technology for water purification of pools and water parks*. *Journal of Ecological Engineering*, Vol. 20, iss. 6 (2019).
19. Патент України №108205 Вібраційний електронасос-кавітатор / Фалік Т. С., Шевчук Л. І., Старчевський В. Л., Строган О. І., Афтаназів І. С. // Заявл. 21.12.2015, опубл. 11.07.2016, бюл. №13.

References

1. Oliveira, I. M., Gomes, I. B., Simões, L. C., Simões, M. (2024). A review of research advances on disinfection strategies for biofilm control in drinking water distribution systems. *Water Research*, 253, 121273. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121273>
2. Zorina, O. V. (2025). Hygienic assessment of the main approaches to the use of disinfectants at water treatment plants in Ukraine with surface water sources. *Hihiiena naselennykh mists*, 76, 52–59. [In Ukrainian]
3. Jia, J., Rui, M., Cheng, X., & Liang, H. (2023). Application of ultrafiltration technology in drinking water industry of China: A comprehensive assessment of hybrid membrane processes. *AQUA – Water Infrastructure, Ecosystems and Society*, 72(12), 2408–2421. <https://doi.org/10.2166/aqua.2023.215>
4. Tyvonenko, A., Mitchenko, T., Homaniuk, O., Vasilyuk, S., Kosogina, I., Mudryk, R. (2023). Production of physiologically complete drinking water using modified reverse osmosis membranes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(10(122)), 6–13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.277491> [In Ukrainian]
5. Jeje, J. O. (2023). Study of water filtration without chemical pre-treatment. *International Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 6(1), 1–9. <https://doi.org/10.52589/IJMCE-SOVVYJNI>
6. Bolshak, A., Patalashka, R., Hudim, N., Liuts, V., & Shevchuk, O. (2023). Development of highly efficient replaceable filters for drinking water purification based on household filter jugs. *Water and Water Purification Technologies. Scientific and Technical News*, 34(3), 10–21. <https://doi.org/10.20535/2218-930032022256741> [In Ukrainian]
7. Qian, Y., Wang, J., Li, X., Yang, J., Zhang, J., & Wang, Z. (2024). Impact of permanganate with polyaluminium chloride on formation of disinfection by-products from algal organic matter in karst water. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104568. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104568>
8. Zorina, O. V., Surmasheva, O. V., Ivanko, O. M., Polka, O. O., Mavrykin, Ya. O. (2025). Analysis of approaches to evaluation and application of disinfectants for drinking water in Ukraine, EU, and NATO countries. *Ukrainian Journal of Military Medicine*, 6, 48–57. [https://doi.org/10.46847/UJMM.2025.1\(6\)-048](https://doi.org/10.46847/UJMM.2025.1(6)-048) [In Ukrainian]
9. Petrov, O., Petrichenko, S., Yushchishina, A., Mitryasova, O., & Pohrebennyk, V. (2020). Electrospray method in galvanic wastewater treatment for heavy metal removal. *Applied Sciences*, 10(15), 5148. <https://doi.org/10.3390/app10155148>
10. Shatylovykh, E., Skochko, I. (2019). Magnetic field as an auxiliary factor in filtration through various filter materials. *Water*, 11(8), 1584. [In Ukrainian]
11. Synergistic piezo-catalytic inactivation of bacteria by dual-frequency ultrasound (120 + 1700 kHz) using persulfate and ZnO nano- and microparticles. (2023). *Water*, 15(16), 2937. <https://doi.org/10.3390/w15162937>
12. Stepanova, O., Tselen, B., Sydorenko, V., & Obodovych, O. (2023). Wastewater treatment using cavitation effects. *European Science*, 20(2), 35–42. <https://doi.org/10.30890/2709-2313.2023-20-02-014>
13. Luhovskiy, O. F., Movchaniuk, A. V., Beryuk, I. M., Shulha, A. V., Hryshko, I. A., Zilinskiy, A. I. (2021). *Aparatne zabezpechennia ultrazvukovykh kavitatsiynykh tekhnolohii* [Hardware support of ultrasonic cavitation technologies]. Vinnytsia: FOP Kushnir Yu. V. [In Ukrainian]
14. Luhovskiy, O. F., Shulha, A. V., Beryuk, I. M., Hryshko, I. A., Movchaniuk, A. V., Zilinskiy, A. I. (2022). *Ultrazvukovi tekhnolohichni protsesy. Rozpylennia ta ekstrakuvannia: monohrafiia* [Ultrasonic technological processes. Atomization and extraction: monograph]. Vinnytsia: FOP Kushnir Yu. V. [In Ukrainian]
15. Shevchuk, L. I., Aftanaziv, I. S., Strogan, O. I., Starchevskiy, V. L. (2013). *Nyzk chastotni vibrorazonansni kavitatory: monohrafiia* [Low-frequency vibroresonance cavitators: monograph]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi Politekhniky. [In Ukrainian]
16. Shevchuk, L. I., & Starchevskiy, V. L. (2014). *Kavitatsiia. Fizychni, khimichni, biolohichni ta tekhnolohichni aspekty: monohrafiia* [Cavitation. Physical, chemical, biological, and technological aspects: monograph]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi Politekhniky. [In Ukrainian]
17. Aftanaziv, I., Shevchuk, L., Koval, I. Z., Strutynska, L., Strogan, O., Smolarz, A., Ormanbekova, A., Begaliyeva, K. (2019). Electromagnetic vibratory cavitator. *Przegląd Elektrotechniczny*, 95(4).
18. Aftanaziv, I., Shevchuk, L., Malovanyu, M., Strutynska, L., & Samsin, I. (2019). Cavitation-reagent technology for water purification of pools and water parks. *Journal of Ecological Engineering*, 20(6).
19. Falyk, T. S., Shevchuk, L. I., Starchevskiy, V. L., Strogan, O. I., & Aftanaziv, I. S. (2016). *Vibration electropump-cavitator* [Patent No. UA 108205]. Ukraine: Ukrainian Intellectual Property Institute. (Filed December 21, 2015; published July 11, 2016, Bulletin No. 13)].