

<https://doi.org/10.31891/2307-5740-2022-306-3-3>

УДК 338.242

Леся СТРУТИНСЬКА

Національний університет «Львівська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-0401-5475>

e-mail: [lesyastrutyn@gmail.com](mailto:lesyastrutyn@gmail.com)

## ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ІННОВАЦІЙНИХ ВОДООЧИСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БАСЕЙНІВ ТА АКВАПАРКІВ

*Розглянуто типові процеси водоочищення та водопідготовки басейнів аквапарків. Запропонована методика економічної оцінки ефективності їх застосування. Методика ґрунтується на запровадженні ряду показників якості водоочисного процесу, розрахунку коефіцієнта «критерію ефективності» водоочищення басейнів.*

*Встановлено, що найвищими значеннями ефективності із розглянутих водоочисних процесів володіє запропонований метод електролізно-кавітаційного водоочищення. Цей метод ґрунтується на органічному поєднанні переваг таких фізичних методів як електролізне та кавітаційне знезараження органічних та біологічних забруднювачів води. Забезпечуваний ним ступінь очищення та знезараження сягає 97-98%.*

*Ключові слова: економічна ефективність, методи водоочищення, методика розрахунку, показники ефективності.*

Lesya STRUTYNSKA

Lviv Polytechnic National University

## EVALUATION OF ECONOMIC EFFICIENCY OF INNOVATIVE WATER TREATMENT TECHNOLOGIES OF SWIMMING POOLS AND WATER PARKS

*Typical processes of water purification and water treatment of water park pools are considered. The method of economic estimation of efficiency of their application is offered. The methodology is based on the introduction of a number of indicators of the quality of the water treatment process of calculating the coefficient of "efficiency criterion" of water treatment of swimming pools.*

*The purpose of this study was to develop an innovative technology of electrolytic-cavitation water treatment for swimming pools and water parks and to create a method of comparative evaluation of the effectiveness of modern water treatment technologies.*

*A new technological scheme of electrolytic-cavitation water purification of public water bodies is proposed. A mathematical dependence has been created, which allows to objectively assess the effectiveness of various methods of water treatment and purification using the proposed indicator called "efficiency criterion"*

*It is established that the proposed method of electrolytic-cavitation water purification has the highest values of efficiency from the considered water purification processes. This method is based on an organic combination of the advantages of such physical methods as electrolytic and cavitation disinfection of organic and biological water pollutants. The degree of purification and disinfection provided by him reaches 97-98%.*

*Key words: economic efficiency, water treatment methods, calculation methods, efficiency indicators.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді

#### та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Проблеми управління процесами переходу економіки та інноваційний розвиток на сучасному етапі суспільного соціального стану приділяється підвищена увага науковців та практиків. Як наслідок, у розвинутих країнах до 80-85% приросту ВВП забезпечується інноваційними заходами, найвагомішими посеред яких є нові досконалі технологічні процеси виготовлення виробів та продукції в органічному поєднанні із новими методами організації виробництва. На жаль, на сьогоднішній день частка України у загальноосвітньому обсязі наукомісткої продукції становить лише десяту долю відсотка. Для порівняння, у Польщі цей показник вищий у десятки разів, у Німеччині – в сотні. Проблема тут полягає не лише у тому, що суттєво сповільнюються темпи економічного розвитку нашої країни порівняно із провідними країнами світу, а і в тому, через несумісність будемо відкинутими до гонорти країн так званого «третього» світу. Як відзначає проф. С.М. Ілляшенко: «У цих умовах для України опора інновації є тим єдино можливим шляхом, який дозволить забезпечити сталий розвиток і входження на рівних до світового співавторства цивілізованих країн» [ 1].

Поряд з тим, специфічною особливістю сучасних інноваційних технологій як у виробничих галузях, так і в різнопланових галузях сфери послуг, є нерозривне їх поєднання із заходами збереження довкілля. Складається враження, що людство нарешті усвідомило, що гонитва у виробничих галузях за надприбутками із притаманною їй шкодою для навколишнього середовища є згубним шляхом екстенсивного розвитку, оскільки подальші витрати на відновлення довкілля та компенсацію завданої здоров'ю людей шкоди у разі, а то і десятки разів перевищують очікувані прибутки, закладені на етапах недосконалого шкідливого для довкілля виробництва. Нехай не на омріяно-бажаному, та все ж на доволі відчутному рівні у ХХІ столітті покращився рівень культури та статків мешканців України. Широкі можливості зарубіжного туризму із супутніми йому властивостями переймання кращого побутового досвіду, потужне Internet-інформаційне поле, підвищення фінансових можливостей для певних прошарків

населення сприяло перегляду мешканцями країни власних традицій та дозвілля. Це постало поштовхом активному розвитку в містах побутової сфери, косметичних та SPA-салонів, харчових та розважальних закладів, басейнів і аквапарків тощо. Ці сучасні заходи оздоровлення, гігієни та покращення побуту громадян нерозривно пов'язані зі стрімким наростанням обсягів використання у населених пунктах води, а відповідно, і із збільшенням побутових стоків та зумовленого цим погіршення екології довкілля.

Особливою мірою показовими у цьому відношенні постали модні у сьогоднішні посеред громадян водні оздоровчі процедури. Як наслідок цього – басейни та водойми громадського використання облаштовано практично у кожному мікрорайоні великих міст як у закритих приміщеннях, так і на відкритому повітрі. До споконвіку традиційних плавальних басейнів та душових тут додалися лікувальні гідромасажи, новомодні сауни, бані та парильні кімнати, різноманітні водяні гірки та атракціони, косметичні SPA-салони, які у основному ґрунтуються на використанні великих кількостей води, до того ж із високими ступенями її очищення.

Специфіка сучасних водних процедур у соціальному контексті полягає у тому, що усвідомивши їх значимість для здоров'я, користувачі готові сплачувати доволі значні кошти за їх використання. Проте і справедливо вимагають за це високої якості безпосередньо самої води та належного обслуговування та високої якості безпосередньо самої води. Якість води суттєво вища від загальноприйнятих у сьогоднішні в Україні застарілих санітарно-гігієнічних норм.

Саме тому технологічним процесам водопідготовки та водоочищення, які є запорукою збереження якісної гідросфери для нащадків, науковцями в останні роки приділяється все більша увага. Але досить часто впровадження перспективних технологій водоочищення стримується отриманням після реалізації цих технологій значних об'ємів осадів, які здатні накопичуватись та спричиняти вторинне забруднення довкілля. Зокрема у випадку реалізації адсорбційних методів очищення утворюються значні кількості відпрацьованих сорбентів. Реалізація реагентних методів очищення досить часто супроводжується накопиченням продуктів реакції. У кращих випадках ці речовини знаходять застосування у інших галузях економіки – наприклад як комплексні добрива пролонгованої дії. Реагентних методів, в результаті реалізації яких не утворюються вторинні відходи, небагато, до того ж часто їх реалізація супроводжується утворенням шкідливих продуктів реакції. У випадку ж реалізації біологічних методів очищення (ця технологія є типовою для очищення муніципальних стічних вод) утворюється велика кількість відпрацьованого активного мулу, який вже зараз створив потужне забруднення довкілля в Україні та в ряді інших країн [2]. Тому особливо увагу дослідники приділяють таким методам очищення водних середовищ, в результаті реалізації яких вторинні відходи не утворювались би. До таких методів у першу чергу належать фізичні методи очищення.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

За умови наявності на територіях високо розвинутих суспільних формацій достатньої кількості водних ресурсів культура гігієни та оздоровчих водних процедур споконвіків була, є і незаперечно буде неодмінною складовою побуту громадян. Ця особливість побуту не втрачає своєї актуальності та вагомості для здоров'я і сучасних мешканців, і прийдешніх поколінь. дана проблема є ваговою і для екології довкілля, оскільки обсяги споживаної води невпинно наростають, а її запаси катастрофічно зменшуються. Саме тому невпинно нарощується кількість наукових досліджень, спрямованих на вдосконалення технологій водоочищення та водопідготовки. Переважно вони спрямовані на створення інноваційних підходів як до розробки високоєфективних технологічних процесів, так і до методик оцінки їх ефективності. Нові водоочисні технології доволі ґрунтовно описані у літературних першоджерелах [3]. Проте відсутність методик їх порівняльної оцінки утворює певні труднощі при виборі для конкретних установ тої, чи іншої технології. Тому для підприємств малого та середнього бізнесу, зорієнтованих на надання оздоровчих послуг, відсутність методик порівняльної оцінки водоочисних технологій створює небезпеку відчутних фінансових збитків.

Вагомість якості води, як засобу її гігієни та продукту харчування людини переоцінити практично не можливо. Адже саме вода та оточуюче нас повітря у їх органічному поєднанні із продуктами харчування є найвагомішими для життя людини субстанціями і саме їх якість є визначальною для її здоров'я. Переконаливо доведено, що саме джерельній та збагаченій корисними солями і мінералами лікувальній воді характерні оздоровчі для живих організмів властивості. Проте відомо також, що, саме неякісна бактеріологічно чи хімічно забруднена вода постає джерелом шкідливих інфекцій та важко виліковних хвороб (дизентерії, холери, тифу тощо). Саме тому технологічним процесам водоочищення та водопідготовки приділяється підвищена увага із міркувань потреби у забезпеченні та чіткому дотриманні встановлених санітарно-гігієнічних норм.

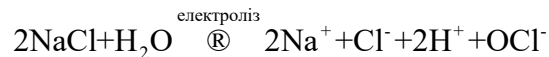
На жаль, в Україні і на сьогоднішній день в основному використовують морально застарілі технології водопідготовки, що базуються, в основному, на грубому та тонкому фільтруванні води від механічних домішок та хімічному окисненні хлором як біологічно знезаражувальному засобі. Найрозповсюдженішими такі технології водопідготовки із рециркуляційною схемою водообміну є для басейнів та водойм громадського використання – басейнів, аквапарків тощо. Концентрація залишкового хлору на рівні 0,3 мг/дм<sup>3</sup> тут певною мірою гарантує бактеріологічну безпеку користувачів щодо санітарно-

показникових бактерій та мікроорганізмів (кишкової палички, ентерококів, стафілококів тощо). Однак, загальновідома і доволі шкідлива дія хлору як дезінфікуючого засобу на організм людей, особливо схильних до алергічних захворювань. Це подразнююча дія хлору на слизові та шкіру, інтоксикації при потраплянні шкідливих сполук хлору в органи зору та дихання, отруєння при випадкових ковтаннях води тощо. Та і осадити сполуки розчиненого в воді хлору при її утилізації доволі затратно і складно, тому переважно у басейнах використовують періодичну водозаміну, зливаючи використану воду в каналізаційні системи водовідведення. Зрозуміло, що дана технологічна схема водопідготовки застаріла і потребує вдосконалення.

Одним із дієвих інноваційних кроків у екологічному покращенні процесів водопідготовки постала заміна недосконалого з позиційного впливу на здоров'я користувачів та довкілля хлорування води та дезінфікуюче і знезаражувальне її очищення пероксидом водню  $H_2O_2$ . Пероксид водню як хімічний дезінфектант не містить подразнювачів і запахів, не провокує алергічних захворювань. І що не менш вагомо – не утворює при тривалій взаємодії із водою нерозчинних сполук та осадів. Проте, використання вартісного пероксиду водню суттєво підвищує затрати на водопідготовку, порівняно із хлоруванням.

Все ширшого розповсюдження набувають методи фізичного та фізико-хімічного очищення води, які зорієнтовані на використання тих чи інших фізичних явищ та впливів на воду із метою її очищення, покращення структури та властивостей. Найширшого розповсюдження у сьогоднішній для цієї мети набули методи електролізного очищення води та її озонування. При електролізному очищенні на першому етапі забруднену воду, пропускаючи крізь фільтри грубого та тонкого очищення, відфільтровують від механічних домішок. На другому етапі в електролізному апараті підготовлюють дезінфектант.

Під дією електричного струму в апараті відбувається реакція електролізного розщеплення кухонної солі за наступним хімічним рівнянням



На третьому етапі дезінфектант додають у забруднену воду. Іони  $OCl^-$ , активно взаємодіючи із наявним у воді забрудненням, знезаражують її та очищають. Відстояну і очищену від осаду воду в подальшому подають до басейну, постійно здійснюючи контроль за ступенем її забруднення. Дане очищення води здійснюють дискретно 3-4 рази на добу, залежно від вмісту забруднення. Завдяки цьому вся вода басейну впродовж певного часу проходить багаторазове електролізне очищення, невпинно підтримуються на належному рівні її санітарно-гігієнічні показники. Це понижує затрати на дезінфектанти. Тим не менше, затрати електроенергії на функціонування електролізної установки є доволі значними – до 10 Квт за годину експлуатації однієї із двох дублюючих одна одну установок. У наслідок цього фінансові витрати на експлуатацію електролізних установок відчутно підвищують вартість послуг для відвідувачів [4].

Принцип очищення води озонуванням дещо інший. Він базується на тому, що надзвичайно активний у хімічному розумінні окиснювач газ озон у певних співвідношеннях пропускається крізь забруднену воду та інтенсивно очищує її від біологічних забруднень. Активно взаємодіючи із цитоплазматичними мікроорганізмами озон руйнує їх, позбавляє бактерії репродуктивної здатності до відновлення та розмноження. Як наслідок, за чіткого дотримання вимог озонових очисних технологій забезпечується до 99% ступінь біологічного знезараження води. Згідно запровадженій класифікації озонування належить до реагентних методів водоочищення. Однак, отримання озону в достатніх для очищення води басейнів кількостях хімічними методами довготривале у часі та затратне. Тому для його застосування використовують фізичні методи отримання озону, які базуються на утворенні озону із кисню повітря у міжелектродному просторі навколо електричної дуги.

Порівняно із електролізним очищенням води озонування забезпечує суттєво вищі показники біологічного знезараження, однак і вартість його, що обумовлена незначною продуктивністю електродугового утворення озону та відчутними на це енергозатратами, суттєво вища. Очевидно саме тому озонування як метод очищення води використовують переважно для дитячих басейнів із незначними до 100 літрів запасами води, а дешевше електролізне очищення – для більш об'ємних загальних басейнів.

Наступним кроком у екологічному покращенні водокористування мав би постати комплекс заходів, спрямованих на покращення лікувальних властивостей як безпосередньо самої води, так і водних процедур, та вдосконалення очисних технологій. Наприклад, шляхом пониження витрат на дезінфікуючі реагенти завдяки зменшенню необхідної їх кількості та концентрації. Досягнути цього можна шляхом так званої «активації» води благодатними фізичними впливами на неї з метою переструктуризації води до мономолекулярного стану. Саме мономолекулярна структурна будова молекул притаманна цілощій джерельній воді, саме за такої структури воді властива найкраща засвоєваність рослинами та тваринним світом. У мономолекулярному стані вода набуває, за класифікацією хіміків, властивостей «апротонного розчинника», стрімко нарощуючи свою окисну здатність. Наслідком цього є підвищення природної протидії активованої води біологічному забрудненню, покращення її антисептичних властивостей, сприяння загоюванню мікротравм шкіри та мікротріщин слизових. Однак, існуючим та розповсюдженим на

сьогоднішній день методам активації води властиві певні недоліки, що стають на заваді широкому їх застосуванню для таких значних об'ємів води, які властиві басейнам та аквапаркам. Так, відомим фізичним методам активації води – магнітній, ультразвуковій кавітаційній, електроіскровій обробкам тощо, окрім притаманних виключно їм особливим обмеженням, властивий ще і спільний для них всіх недолік. Він полягає у незначній продуктивності цих методів активації, що звісно обмежує їх технологічні можливості. Спільним недоліком методів хімічної активації (озонування, обробки води сріблом тощо) є висока вартість реагентів. Тому все ще актуальними залишаються наукові пошуки придатних для значних об'ємів води методів активації з метою її переструктуризації до мономолекулярного стану.

В останні десятиліття увагу вчених-дослідників, що займаються питаннями водоочищення, було звернуто на використання для цих цілей кавітаційних явищ. В даний час для кавітаційної обробки рідин і суспензій на їх основі найбільш відомі ультразвукові генератори та гідродинамічні кавітатори. Ультразвукова кавітаційна обробка відрізняється високою інтенсивністю формованого кавітаційного поля, проте вона надзвичайно низькопродуктивна через швидке загасання ультразвукової хвилі в рідинному середовищі. Та й енергетичні витрати в ультразвукових генераторах досить відчутні - до 500 Вт/дм<sup>3</sup>, що в більшості своїй, обмежує використання ультразвуку сферою лабораторних досліджень [5, 6].

У гідродинамічних кавітаторах кавітаційне поле генерується в результаті зміни швидкості і геометрії гідравлічних потоків при обтіканні ними твердих тіл або при переміщенні за певних швидкостей в рідинних твердих тіл. Найбільшого поширення набули гідродинамічні лопатеві кавітатори, в основу яких закладено формування кавітаційного поля внаслідок обертання в рідинному потоці із високою швидкістю багатолопатевої крильчатки. Продуктивність кавітаційної обробки рідин тут досить висока і досягає 2 ÷ 3 м<sup>3</sup>/год. Однак інтенсивність сформованого кавітаційного поля незначна, що не забезпечує якісної обробки рідин, звужуючи сферу ефективного використання гідродинамічних кавітаторів [7].

Не залежно від природи збудження кавітаційного поля механізми кавітаційного впливу на рідини в більшості своїй ідентичні. Найбільш наочні механізми кавітаційного впливу в рідинних на основі води. Численні короткі за часом етапи зародження, зростання і сплескування кавітаційних бульбашок під дією зміни в них тиску газового середовища сприяють формуванню потужної енергетичної хвилі, розвитку хімічних реакцій і перетворенням в структурі молекул води. У кавітаційному полі в рідинних на основі води утворюються радикали Н<sup>•</sup> і °ОН<sup>1</sup> та первинні продукти розкладу води, такі як пероксид водню, які володіють високою активністю до хімічних окиснювальних реакцій. І хоч час існування цих окремо взятих радикалів обчислюються мілісекундами, велика кількість і безперервне утворення нових (замість тих, які вступили в хімічні реакції) сприяє інтенсивному розвитку хімічних окиснювальних реакцій із забрудненнями рідини, наприклад органікою. При цьому енергією мікрохвиль, що утворюються при сплескуванні кавітаційних бульбашок, руйнуються оболонки мікроорганізмів, бактерій та дріжджів, що містяться в рідині. Цим забезпечується знезараження рідинного середовища від біологічних забруднень. Органічний внутрішній вміст зруйнованих бактерій і мікроорганізмів під впливом радикалів °ОН<sup>1</sup> перетворюється частково в Н<sub>2</sub>О і СО<sub>2</sub>, частково осідає в накопичувачах обробленої рідини [8].

Таким чином, існуючим технологіям водоочищення та водопідготовки властива наступна ситуація: реагентні методи, хай через незначну, та все ж існуючу, небезпеку для здоров'я користувачів не рекомендуються для застосування, фізичні та фізико-хімічні – надмірно енергозатратні і відповідно вартісні. Тому актуальними залишаються дослідження, спрямовані на створення новітніх високопродуктивних та енергоощадних методів водоочищення, спроможних поєднати високі ступені очищення води із порівняно незначними затратами на їх здійснення. Не менш важливою є і розробка відсутньої на сьогоднішній день методики порівняльної оцінки економічної доцільності запровадження тих чи інших методів водопідготовки та водоочищення. Використання цих методик дозволить обрати для конкретних водойм економічно виправдані методи водоочищення, що дозволить підвищити конкурентоспроможність підприємств, зорієнтованих на надання водно-оздоровчих послуг.

### Формулювання цілей статті

Метою даного дослідження є розробка інноваційної технології електролізно-кавітаційного водоочищення для басейнів та аквапарків та створення методики порівняльної оцінки ефективності сучасних водоочисних технологій.

Для досягнення мети були сформульовані наступні основні задачі:

- ✓ аналіз ефективності сучасних водоочисних технологій для водопідготовки басейнів та аквапарків;
- ✓ розробка принципової технологічної схеми електролізно-кавітаційного водоочищення для водойм громадського використання;
- ✓ оцінка ефективності запропонованої інноваційної водоочисної технології;
- ✓ виокремлення основних чинників та розробка математичної залежності для визначення показника ефективності водоочисних технологій;
- ✓ розробка методики порівняльного аналізу ефективності водоочисних технологій.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Вище було відзначено, що на сьогоднішній день найбільш ефективною для водопідготовки басейнів громадського користування є технологія очищення гіпохлоритом натрію, який виготовляють на місці шляхом електролізу кухонної солі. Однак широкому її використанню перешкоджає не тільки висока вартість електролізних апаратів, але й значні енерговитрати при їх експлуатації. Для прикладу, найбільш поширена для водоочищення модель електролізної установки «Сиваш» ЄДР -1000 споживає до 10 кВт електроенергії на годину. І це при необхідності використання як мінімум двох установок для якісної водопідготовки середнього за розмірами басейну водовмістимістю 3,5-5,0 тисяч кубічних метрів води. Така висока енергозатратність негативно позначається на вартості послуг для споживачів водних процедур. Нами експериментально випробувана вдосконалена технологічна схема водопідготовки басейну, що поєднує стадію електролізу розчину кухонної солі для отримання гіпохлориту натрію та віброкавітаційну стадію очищення води.

Технологічна схема електролізно-кавітаційного очищення та знезаражування води басейнів та закритих водойм громадського користування зображена на рис. 1. Ця схема водоочищення передбачає циркуляційний контур замкнутого циклу, в який включені блок фільтрації води із фільтрами грубого та тонкого очищення, апарати електролізного приготування реагенту для очищення води типу «Сиваш» ЄДР-1000, блок кавітаційного очищення води із декількома електромагнітними віброкавітаторами резонансної дії та системою подачі газу в робочі камери віброкавітаторів [9]. Залежно від обсягу підлягаючої щоденному очищенню води басейну, який рівний приблизно 15...20% загального його об'єму, блок кавітаційного очищення включає 2...4 віброрезонансних кавітатори. Продуктивність кожного із кавітаторів становить 3...3,5 м<sup>3</sup>/год при споживаній потужності 1...1,5 квт/год. Як супутній кавітаційній обробці води газ використовували азот із витратою подачі його в робочу камеру кавітатора, рівною 0,15 дм<sup>3</sup> на кожен кубічний метр оброблюваної води.

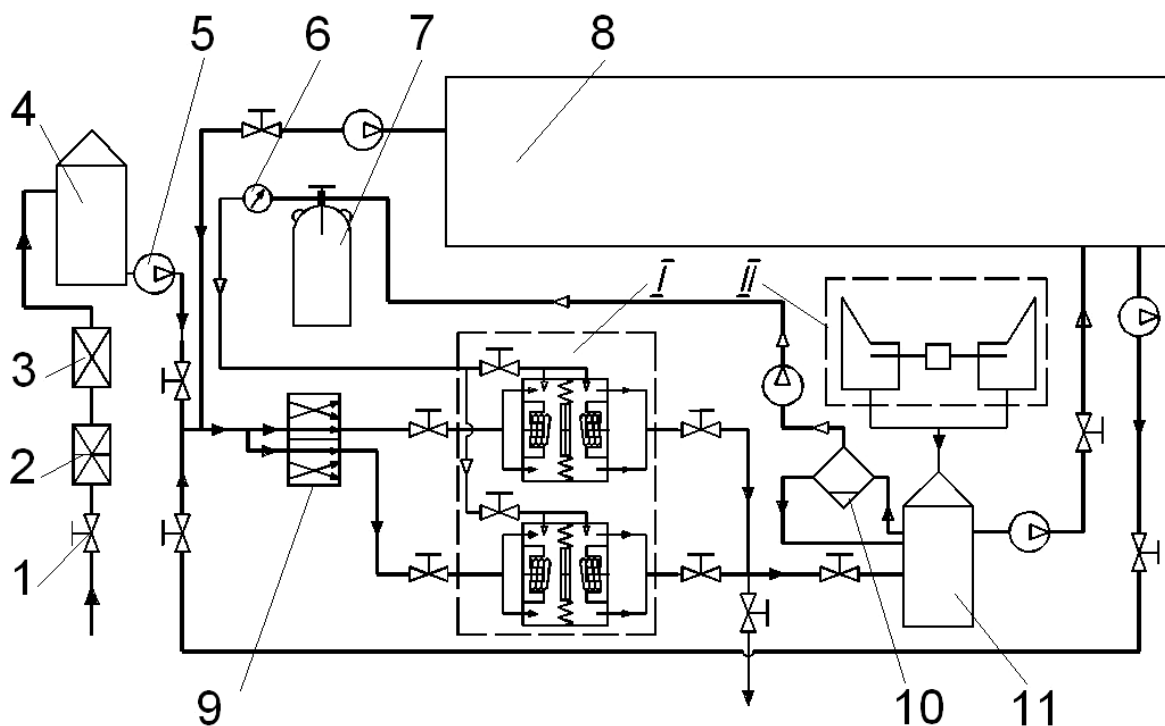


Рис. 1. Технологічна схема електролізно-кавітаційного водоочищення водойм загального користування: 1 – регулювальний вентиль, 2 – фільтр грубого очищення, 3 – фільтр тонкого очищення, 4 – бак накопичувач, 5 – насос, 6 – манометр, 7 – балон з газом, 8 – басейн, 9 – пневмозолотниковий перемикач потоків води, 10 – сепаратор, 11 – накопичувальна ємність змішування води із гіпохлоритом натрію, I – блок віброкавітаторів, II – блок електролізного приготування гіпохлориту натрію

У загальну систему водопідготовки включено три незалежних контури. Перший контур призначений для водопідготовки води, що надходить безпосередньо із міської водопровідної магістралі або резервних баків води для заповнення басейну. Пройшовши блок фільтрації, вода подається в робочі камери віброкавітаторів, де очищається від органічних та біологічних забруднень. Після віброкавітаторів очищена вода надходить в резервуар-накопичувач, де змішується із отриманим в електролізній установці гіпохлоритом натрію. Після відстоювання остаточно підготовлену воду подають для заповнення басейну. Другий циркуляційний контур призначений для циклічної знезаражувальної обробки забрудненої води басейну. Забруднена вода, що надходить через систему переливів басейну, надходить на позицію

віброкавітаційного очищення, потім змішується в резервуарі-накопичувачі із розчином гіпохлориту натрію, заповнює резервуар для води і насосами очищена повторно подається в басейн. Очищення цієї циркуляційної води здійснюють періодично, приблизно 3-4 рази на добу, залежно від ступеня забруднення води і режиму роботи басейну.

Третій контур запропонованої системи водоочищення призначений для очищення забрудненої води басейну перед її скиданням в каналізаційну систему. У цьому контурі вода після фільтрації та знезараження в віброкавітаторах скидається в зливову або каналізаційну міську систему.

Очисне обладнання типової електролізної водоочистки в добу споживає близько 100 кВт електроенергії, запропонованої електролізно-кавітаційної 65-70 кВт. За місяць експлуатації при 25 робочих днях ця різниця в спожитій електроенергії складе в середньому 850 кВт, за рік близько 10 тисяч кіловат. Зменшення вдвічі з 10 до 5 годин на добу часу експлуатації електролізних апаратів в запропонованому технологічному процесі електролізно-кавітаційного водоочищення, а відповідно і зниження енерговитрат на їх експлуатацію, має просте пояснення. Адже після попереднього електролізного кавітаційного водоочищення вода басейну вже очищена до 75-77% від органічних речовин і до 80-82% від біологічних забруднювачів. Відповідно, на її завершальну доочистку потрібно меншу кількість дезінфектанту, а відповідно, і менший час експлуатації електролізних апаратів. Так, під час простою електролізних апаратів 5 годин працюють віброкавітатори. Але їх сумарне споживання електроенергії складає всього лише 3 кВт/год проти 10 кВт/год, споживаних одним електролізним апаратом.

Для порівняльної оцінки ефективності різноманітних методів водопідготовки запропоновано наступні показники:

- витрати на очищення одиниці об'єму води -  $B$ , грн./ $\text{дм}^3$ ;
- витрати на утилізацію супутніх очищенню одиниці об'єму води продуктів та осадів -  $Z_y$ , грн./ $\text{дм}^3$ ;
- досяжна для конкретного методу ступінь очищення води  $k$ , яку оцінюють у відсотках або частках від одиниці. Згідно літературним даним, забезпечувані сучасними очисними технологіями ступені очищення води знаходяться в межах  $k = 0,55 - 0,995$  або  $(55 - 99,5) \%$ ;
- ступінь небезпеки очисних реагентів для здоров'я користувачів басейнів та водних процедур -  $k_n = 1 \div 5$ ;
- тривалість збереження у часі водою набутих очищенням властивостей -  $T = (1 - 7)$  діб.

Ступінь  $k$  очищення води, витрати на очисні операції ( $B$ , грн./ $\text{дм}^3$ ) та утилізацію супутніх очищенню продуктів і осадів ( $Z_y$ , грн./ $\text{дм}^3$ ) є загальноприйнятими показниками і не потребують роз'яснень. Стосовно тривалості збереження у часі водою набутих очищенням властивостей  $T$ , год. відзначимо, що чим вищим є для аналізованого методу водопідготовки даний показник, тим меншу кількість повторних очисних циклів та водозамін необхідно здійснювати для забезпечення обумовлених санітарно-гігієнічних норм. Тим ефективнішим постає даний метод. Враховуючи, що залежно від ступеня забруднення води її заміну здійснюють із періодичністю  $T = (1 - 7)$  діб =  $(24 - 168)$  год., саме ці межі рекомендовано для порівняльної оцінки ефективності різноманітних методів водопідготовки.

Для оцінки ступеня небезпеки очисних реагентів для здоров'я користувачів басейнів та водних процедур пропонується п'ятибальна шкала, у якій по мірі наростання показника нарастає і небезпека. Максимальний п'ятибальний показник небезпеки для здоров'я користувачів тут умовно присвоєно методу очищення води хлоруванням, який провокує подразнення слизових оболонок та мікротравм шкіри користувачів, мінімальний один бал – очищенню води сріблом, яке спроможне практично перетворити воду басейна у питну.

Ефективність різноманітних методів водопідготовки та водоочищення можна оцінити за допомогою запропонованого нами показника «критерій ефективності», який визначають за допомогою формули

$$K_{\text{еф}} = \frac{k \cdot T}{k_n (B + Z_y)} \cdot 100\% \quad (1)$$

Зрозуміло, що чим вищим є показник  $K_{\text{еф}}$  ефективності для певного різновиду водоочисного методу, тим меншими є витрати на його використання. Хоч і тут, звичайно, є свої обмеження та передумови. Перш за все, мова йде про цільове використання аналізованого басейну. Так, наприклад, коли вода басейну використовуватиметься для вирощування малька та молодняка риби найефективнішими себе зарекомендували методи очищення води гашеним вапном, яке не тільки очищає воду від мікроорганізмів, а і сповільнює ріст шкідливих аеробних (кисне поглинаючих) водоростей. Для збереження води технічних водойм у переважаючій більшості достатньо звичного її хлорування, для очищення води спортивних арен достатньо ефективним є використання пероксиду водню, для басейнів широкого громадського використання – із міркувань санітарії бажані такі фізичні методи водоочищення, як електролізне, кавітаційне чи комбіноване електролізно-кавітаційне. Уособлено із позицій підвищених санітарно-гігієнічних норм повинні розглядатись дитячі басейни, де навіть неадекватне озонування доречно супроводжувати частими водозамінами. Адже здоров'я дітей – понад усе!

Іншими не менш вагомими для порівняння чинниками є витрати на налагодження того чи іншого водоочисного процесу. У основному тут йдеться про фінансову спроможність власників водойм на закупівлю доволі вартісного необхідного для водопідготовки обладнання, на не менш витратну його експлуатацію. У запропонованому нами показнику  $K_{\text{ef}}$  витрати на придбання водоочисного устаткування, на вишкіл та заробітну плату обслуговуючого його персоналу тощо враховуються витратами на очищення одиниці об'єму води  $V$ , грн.

Звичайно, для великих вмістимих басейнів та аквапарків із давніми усталеними традиціями та контингентом користувачів екологічно спрямовані заходи на запровадження новітніх фізичних чи фізико-хімічних водоочисних технологій доволі швидко окупляться. А от для басейнів із незначною кількістю відвідувачів чи на етапах започаткування надання послуг у водооздоровчій сфері тут зауважуються певні небезпеки. Аби запобігти банкрутству слід дуже уважно і вдумливо підходити до вибору фінансово виправданих для них водоочисних технологій. Адже тут ситуація, яка моделюється, за народним висловом, як «дві сторони однієї медалі». Із одного боку, чим вища якість води, тим для більшої кількості відвідувачів бажаним є використання саме цього басейну. Однак, висока якість води пов'язана із вартісними технологіями та втілюючим їх обладнанням, що неодмінно підвищить вартість наданих послуг. Вища вартість послуг може виявитись недоступною для частини відвідувачів і це може призвести до зменшення їх загальної кількості. А це вже небезпека втрати рентабельності!

Тому для оцінки доцільності запровадження нових водоочисних технологій і пропонується методика визначення ефективності їх водопідготовки. Розраховану по формулі (1) ефективність водоочисних технологій приведено в таблиці. У даній таблиці проілюстровано показники лише найрозповсюдженіших водоочисних технологій. Зрозуміло, що дана методика порівняльного аналізу придатна і для будь-яких інших процесів водоочищення.

За змінами числових значень показника  $K_{\text{ef}}$  ефективності водоочисних технологій простежуються певні закономірності. Зайвий раз проілюстровано, що особіно взяті реагентні методи очищення води менш ефективні, порівняно із фізичними чи фізико-хімічними. Відчутні переваги поміж фізичними методами кавітаційної обробки пояснюються незначними питомими (на одиницю об'єму очищеної води) затратами на її здійснення, високим ступенем очищення води у поєднанні із довготривалістю збереження набутих нею властивостей.

Здавалось би незаслужено низький рівень показника  $K_{\text{ef}}$  для високоефективного із позицій ступеня очищення озонування теж має своє тлумачення. Причинами цьому є доволі відчутна вартість отримання озону в поєднанні із незначною тривалістю збереження озонуюваною водою набутих властивостей. Надлишковий газоподібний озон швидко випаровує із води в атмосферу, а збагачена киснем після взаємодії з озоном вода постає доволі поживним середовищем для шкідливих киснепоглинаючих бактерій. Це провокує активне розмноження цих мікроорганізмів, а відповідно і біологічне забруднення води. Тому і тривалість між циклами озонування не може бути значною, а відповідно наростають витрати на спожиту пристроями для утворення озону електроенергію. Однак, як відображено вище, коли мова заходить про здоров'я дітей і економічні витрати відходять на другий план – озонування поза конкуренцією.

Таблиця 1

## Порівняльна оцінка ефективності водоочисних технологій

№ з/п	Технології водопідготовки та водоочищення	Витрати на очищення одиниці об'єму води $V$ , грн/дм <sup>3</sup>	Витрати на утилізацію одиниці об'єму води $Z$ , грн/дм <sup>3</sup>	Тривалість зберігання очищеної води – $T$ , дб	Ступінь очищення води $k$ , %	Коефіцієнт небезпеки для здоров'я користувачів, $k_n$	Показник ефективності очищення води – $K_{\text{ef}}$ , %
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ методи							
1	Озонування	10	–	4	0,99	1,1	36
РЕАГЕНТНІ (хімічні) методи							
1	Хлорування	5	1	4	0,85	5	11,3
2	Пероксид водню	7	0,5	4	0,9	2	24
ФІЗИЧНІ							
1	Електролізне очищення	15	–	6	0,95	1,5	25,3
2	Електролізно-кавітаційне	8	–	7	0,95	1,5	55,5

Децю схожа ситуація і із методом очищення води перемінним магнітним полем високої напруженості. Короткотривалий ефект надзвичайно високий, та тривалість збереження властивостей обліковується лише годинами. Мабуть саме тому метод магнітної обробки та реструктуризації води використовується переважно лише для лікувальних цілей.

Таким чином, можна стверджувати, що запропонована методика порівняльної оцінки технологій водопідготовки для водойм широкого громадського використання, яка ґрунтується на визначеному за допомогою математичної залежності показнику  $K_{\text{ef}}$  ефективності, доволі об'єктивно відображає переваги та недоліки тих чи інших методів водоочищення. Її застосування дозволить віддати перевагу тому чи

іншому водоочисному процесу не лише на основі, здавалось би, найвагомішого показника забезпечуваного ступеня очищення води, а і з врахування економічних показників його використання. Окрім того, дана методика може і слугувати відправною точкою при підрахунку вартості гідрооздоровчих послуг для користувачів.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Аналіз водоочисних технологій басейнів, аквапарків та водойм громадського використання відображає, що найперспективнішими із позицій забезпечення високих рівнів очищення від органічних домішок та біологічних забруднювачів є фізичні та фізико-хімічні методи водопідготовки.

Запропонована інноваційна електролізно-кавітаційна водоочисна технологія, забезпечуючи співрозмірні електролізному водоочищенню показники якості очищення від органічних домішок 97,5-98% та ступінь біологічного знезараження 98-98,5%, на 30-35% понижує енергозатрати на водоочисну операцію.

До основних чинників, що регламентують ефективність різноманітних методів водопідготовки відносяться питомі витрати на очищення умовної одиниці об'єму води, витрати на утилізацію супутніх очищенню продуктів та осаду та ступені очищення, знезараження і безпеки для здоров'я користувачів. Взаємовплив та співвідношення основних чинників водоочисних процесів відображає запропонований «критерій ефективності», для визначення якого розроблено математичну залежність.

Перевірку створеної методики розрахунку ефективності водоочисних технологій здійснено на типових представниках реагентних, фізичних та фізико-хімічних методів водоочищення. Встановлено, що найбільші значення критерію ефективності  $K_{\text{еф.}} \approx 55,5$  притаманні новоствореній електролізно-кавітаційній водоочисній технології, яка належить до групи фізичних методів, найнижчі значення  $K_{\text{еф.}} = 11,3$  властиве хлоруванню, яке є представником хімічних методів водоочищення.

### Література

1. Менеджмент та маркетинг інновацій : [монографія / за заг. ред. д.е.н., проф. С.М. Ілляшенка]. – Суми : ВТД «Університетська книга», 2004. – 616 с.
2. Malovanyu M. Reduction of the environmental threaf from uncontrolled development of cyanobacteria in waters of Dnipro reservoirs / Myroslav Malovanyu, Volodymyr Nykyforov, Olena Kharlamova, Olexander Synelnikov, Khrystyna Dereyko // *Environmental Problems*. – 2016. – № 1. – P. 61–64.
3. Шевчук Л.І. Кавітація. Фізичні, хімічні, біологічні та технологічні аспекти : монографія / Л.І. Шевчук, В.Л. Старчевський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2014. – 376 с.
4. Шевчук Л.І. Низькочастотні віброрезонансні кавітатори : монографія / Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган, В.Л. Старчевський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 176 с.
5. Koval I. The effect of dioxide on the viability of bacteria of Bacillus and Diplococcus genera / I. Koval, V. Kislenco, V. Starchevskyy, L. Shevchuk // *Journal of Water Chemistry and Technology*. – 2012. – Vol. 34. – No 4. – P. 112-116.
6. Shevchuk L. Vibrocavitation decontamination of brewing yeast containing wastewater / L. Shevchuk, I. Aftanaziv, T. Falyk // *CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY*. – 2017. – Vol. 11. No 4. – P. 475–479.
7. Vitenko T.N. A Mechanism of the Activating Effect of Hydrodynamic Cavitation on Water / T.N. Viten'ko and Ya. M. Gumnitskii // *Journal of water chemistry and technology*. – 2007. – V. 29, Issue 5. – S. 231-237.
8. Koval I. Kinetic regularities of the processes of accumulation and destruction of microorganisms in water at bubbling of the different gases / I. Koval, V. Kislenco, L. Shevchuk, V. Starchevskyy // *Chemistry and Chemical Technology*. – 2011. – Vol. 5. – No. 4. – P. 463–467.
9. Вібраційний електромагнітний кавітатор : пат. 107769 України / В.Л. Старчевський, Л.І. Шевчук, І.С. Афтаназів, О.І. Строган. – № 2014 00823 ; заявл. 29.01.2014 ; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.

### References

1. Menedzhment ta marketynh innovatsii : [monohrafiia / za zah. red. d.e.n., prof. S.M. Illiashenka]. – Sumy : VTD «Universytetska knyha», 2004. – 616 s.
2. Malovanyu M. Reduction of the environmental threaf from uncontrolled development of cyanobacteria in waters of Dnipro reservoirs / Myroslav Malovanyu, Volodymyr Nykyforov, Olena Kharlamova, Olexander Synelnikov, Khrystyna Dereyko // *Environmental Problems*. – 2016. – № 1. – R. 61–64.
3. Shevchuk L.I. Kavitatsiia. Fizychni, khimichni, biolohichni ta tekhnolohichni aspekty : monohrafiia / L.I. Shevchuk, V.L. Starchevskyy. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2014. – 376 s.
4. Shevchuk L.I. Nyzkochastotni vibrozozonansni kavitatory : monohrafiia / L.I. Shevchuk, I.S. Aftanaziv, O.I. Strohan, V.L. Starchevskyy. – Lviv : Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2013. – 176 s.
5. Koval I. The effect of dioxide on the viability of bacteria of Bacillus and Diplococcus genera / I. Koval, V. Kislenco, V. Starchevskyy, L. Shevchuk // *Journal of Water Chemistry and Technology*. – 2012. – Vol. 34. – No 4. – P. 112-116.
6. Shevchuk L. Vibrocavitation decontamination of brewing yeast containing wastewater / L. Shevchuk, I. Aftanaziv, T. Falyk // *CHEMISTRY & CHEMICAL TECHNOLOGY*. – 2017. – Vol. 11. No 4. – P. 475–479.
7. Vitenko T.N. A Mechanism of the Activating Effect of Hydrodynamic Cavitation on Water / T.N. Vitenko and Ya. M. Gumnitskii // *Journal of water chemistry and technology*. – 2007. – V. 29, Issue 5. – S. 231-237.
8. Koval I. Kinetic regularities of the processes of accumulation and destruction of microorganisms in water at bubbling of the different gases / I. Koval, V. Kislenco, L. Shevchuk, V. Starchevskyy // *Chemistry and Chemical Technology*. – 2011. – Vol. 5. – No. 4. – P. 463–467.
9. Vibratsiinyi elektromagnitnyi kavitator : pat. 107769 Ukrainy / V.L. Starchevskyy, L.I. Shevchuk, I.S. Aftanaziv, O.I. Strohan. – № 2014 00823 ; zaiavl. 29.01.2014 ; opubl. 10.07.2014, Biul. № 13.