

Л. Р. Струтинська, С. В. Андрусів
Національний університет “Львівська політехніка”

КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ВОДОПІДГОТОВКИ ВОДОЙМ ГРОМАДСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ

© Струтинська Л. Р., Андрусів С. В., 2016

Проаналізовано сучасні інноваційні технології водопідготовки водойм громадського використання, запропоновано методику порівняння їх ефективності. Основою методики є розрахунок і порівняння показника K_{ef} ефективності водоочищення, який органічно поєднує економічні та соціальні чинники. Для визначення показника K_{ef} розроблено відповідну математичну залежність.

Методика порівняльного оцінювання технологій водопідготовки для очищення водойм широкого громадського використання об'єктивно відображає переваги / недоліки різних методів очищення водойм.

За запропонованою методикою можна визначити найоптимальніший спосіб водоочищення.

Ключові слова: басейн, аквапарк, гідрооздоровчі послуги, водопідготовка, ефективність, ступінь очищення, витрати, ефективність, методика, критерій ефективності

CRITERIA OF ESTIMATION OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGY OF VODOPIDGOTOVKI OF RESERVOIRS OF THE PUBLIC USE

© Strutinska L., Andrusiv S., 2016

The analysis of modern innovative technologies of public water reservoirs usage is carried out, and the method of comparing their performance is suggested. The basis of a methodology is calculation and the K_{ef} index of water purification efficiency comparison, which organically combines the economic and social factors. For the determination of K_{ef} index mathematical dependency is developed.

The technique of comparative assessment of water treatment technologies for clean water, extensive public use of objectively reflects the advantages / disadvantages of different methods of cleaning water. Using the proposed method allows to determine the optimal method of treatment.

Key words: pool, aquapark, spa procedures, water preparation, efficiency, purification level, spendings, efficiency criteria.

Постановка проблеми. Нехай не до омріяно бажаного рівня, та все ж доволі відчутно у XXI столітті підвищився рівень статків та культури мешканців України. Потужне Internet-інформаційне поле, широкі можливості зарубіжного туризму із перейманням кращого побутового досвіду, стрімке підвищення фінансових можливостей для певних, хай і не численних, та все ж наявних прошарків населення сприяло доволі прискіпливому перегляду мешканцями країни власних традицій та дозвілля. Очевидно, саме це сприяло активному розвитку в містах побутової сфери, харчових та розважальних закладів, косметичних та SPA- салонів, басейнів та аквапарків тощо. Усі ці сучасні заходи гігієни, оздоровлення та покращення побуту громадян нерозривно пов'язані із стрімким зростанням обсягів використання у населених пунктах води, а відповідно, із збільшенням побутових стоків та зумовленого цим погіршення екології довкілля.

Особливо показовими у цьому аспекті стали популярні сьогодні серед громадян водні оздоровчі процедури. Басейни та водойми громадського використання облаштовано практично у кожному мікрорайоні великих міст як у закритих приміщеннях, так і на відкритому повітрі. До традиційних плавальних басейнів та душевих тут додалися новомодні сауни, бані та парильні кімнати, лікувальні гідромасажи, різноманітні водні атракціони та гірки, косметичні та SPA-салони, в яких використовують значну кількість води, до того ж високого ступеня очищення.

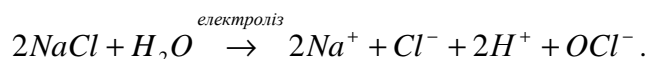
У соціальному контексті специфіка сучасних водних процедур полягає у тому, що усвідомивши їх вагомість для здоров'я, користувачі готові сплачувати доволі значні кошти за їх використання, однак і справедливо вимагають за це належного обслуговування та високої якості безпосередньо самої води. Якості води, навіть суттєво вищої від загальноприйнятих сьогодні в Україні застарілих санітарно-гігієнічних норм.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Культура гігієни та оздоровчих водних процедур споконвіку була притаманна високорозвиненим суспільним формаціям за незаперечної умови наявності на їх територіях водних ресурсів. Не втратила вона своєї актуальності та вагомості для здоров'я і сьогодні. Вагомою ця проблема постає і для екології довкілля, оскільки обсяги споживаної води невпинно зростають, а її запаси катастрофічно зменшуються. Тому невпинно збільшується кількість наукових досліджень, спрямованих на вдосконалення технологій водопідготовки та водоочищення, на створення інноваційних підходів як до розроблення високо-ефективних технологічних процесів, так і до методик оцінювання їх ефективності. Новітні водоочисні технології описано у літературних джерелах [1–3]. А от методики їх порівняльної оцінки відсутні, що створює певні труднощі для конкретних установ, орієнтованих на надання оздоровчих послуг, небезпеку відчутних фінансових збитків.

Зростаюча поміж власниками басейнів та аквапарків конкуренція у боротьбі за користувача послуг спонукає їх використовувати сучасні технології водоочищення та водопідготовки. У минуле відійшла більшість так званих реагентних методів очищення води, зорієнтованих на використання сильнодіючих хімічних речовин, наприклад хлору та його сполук, пероксиду водню тощо. Адже, забезпечуючи доволі високі ступені очищення, реагентні методи передбачають видалення з води новоутворених відходів та осадів. До того ж, як правило, вони надають воді неприродних забарвлень та запахів, а що найнеприємніше – подразнюють очі, слизову та шкіру користувачів басейнів тощо.

На заміну їм все поширеніші методи фізичного та фізико-хімічного очищення води, які орієнтовані на використання тих чи інших фізичних явищ та впливів на воду із метою її очищення, покращення структури та властивостей. Найпоширенішими сьогодні стали методи електролізного очищення води та її озонування.

При електролізному очищенні забруднену воду пропускають крізь фільтри грубого та тонкого очищення, відфільтровують від механічних домішок, а потім подають на апарат електроструменевого електролізного очищення у поєднанні із розчином кухонної солі ($NaCl$). Під дією електричного струму в апараті відбувається реакція електролізного розщеплення кухонної солі за таким хімічним рівнянням



Іони OCl^- , активно взаємодіючи із наявними у воді забрудненнями, знезаражують її та очищають. Відстояну і очищену від осаду воду подають до басейну, постійно контролюючи ступінь її забруднення. Очищують воду тут 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. Унаслідок цього фінансові витрати на експлуатацію електролізних установок відчутно підвищують вартість послуг для відвідувачів [1].

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 цитоплазмою мікроорганізмів, озон руйнує її, позбавляє бактерії репродуктивної здатності до відновлення та розмноження. За чіткого дотримання вимог озонних очисних технологій досягають 99 % ступеня біологічного знезараження води. Згідно із запровадженою класифікацією озонування належить до реагентних методів водоочищення. Однак отримання озону в достатніх для очищення води басейнів кількостях хімічними методами тривале у часі та затратне. Тому для його застосування використовують фізичні методи отримання озону, які ґрунтуються на утворенні озону із кисню повітря у міжелектродному просторі навколо електричної дуги.

Порівняно із електролізним очищенням води озонування забезпечує значно вищі показники біологічного знезараження, однак і вартість його, що зумовлена незначною продуктивністю електродугового утворення озону та відчутними на це енергозатратами, істотно 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 [3].

Отже, щодо технологій водоочищення та водопідготовки спостерігається така 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 дорогі. 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 важливо розробити відсутню сьогодні методику порівняльного оцінювання економічної доцільності запровадження тих чи інших методів водопідготовки та водоочищення. Використовуючи ці методики, можна вибрати для конкретних водойм економічно виправдані методи водоочищення, що підвищить конкурентоспроможність підприємств, орієнтованих на надання водно-оздоровчих послуг.

Метою наукової статті є розроблення методики порівняльного оцінювання ефективності водоочисних технологій, які використовуються для водойм широкого громадського вжитку. Методики, яка органічно поєднуватиме економічні показники водопідготовки із соціальними вигодами користувачів.

Задачі дослідження охоплювали:

- аналіз інноваційних водоочисних технологій, що використовуються чи мають перспективу застосування для гідрооздоровчих процедур;
- виокремлення основних чинників та розроблення математичної залежності для визначення показника ефективності водоочисних технологій;
- розроблення методики порівняльного аналізу ефективності водоочисних технологій.

Виклад основного матеріалу. Одним із останніх досягнень у галузі водопідготовки є створений у Національному університеті «Львівська політехніка» метод віброрезонансної кавітаційної обробки води. Цей метод передбачає очищення води кавітаційним полем віброрезонансного кавітатора. У процесі обробки у сформованому в оброблюваній воді кавітаційному полі формуються хімічно високоактивні іони OH^- , які не лише знезаражують воду від біологічного забруднення, а й очищають її від органічних забруднювачів, зокрема й від широко розповсюдженої у воді басейнів сечовини. Іони OH^- окислюють наявну у воді сечовину, нейтралізують її, переводячи у вуглекислий газ та воду. Відчутними перевагами цього методу є поєднання високого – до 99,5 % – ступеня очищення води від органічних та біологічних забруднень із значною продуктивністю водопідготовки – до 2,5 м³/год для одного кавітатора. Віброкавітатори можна з'єднати паралельно-послідовно, що у випадку потреби в рази підвищує їх продуктивність.

Для порівняльної оцінки ефективності різноманітних методів водопідготовки запропоновано такі показники:

- витрати на очищення одиниці об'єму води – V , грн/дм³;
- витрати на утилізацію супутніх очищенню одиниці об'єму води продуктів та осадів – Z_y , грн/дм³;
- досяжний для конкретного методу ступінь очищення води, який подають у відсотках або частках від одиниці. Згідно з літературних даних, 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 з часом водою набутих очищенням властивостей – $T = (1 - 7)$ діб.

Ступінь k очищення води, витрати на очисні операції (V , грн/дм³) та утилізацію супутніх очищенню продуктів і осадів (Z_y , грн/дм³) є загальноприйнятими показниками і не потребують роз'яснень. Стосовно тривалості збереження у часі водою набутих очищенням властивостей T , год, зазначимо: що вищий є для аналізованого методу водопідготовки цей показник, то меншу кількість повторних очисних циклів та водозамін необхідно здійснювати для забезпечення певних санітарно-гігієнічних норм. То ефективнішим є цей метод. Враховуючи, що залежно від ступеня забруднення води її замінюють із періодичністю $T = (1 - 7)$ діб = $(24 - 168)$ год., саме ці межі рекомендовано для порівняльного оцінювання ефективності різноманітних методів водопідготовки.

Оцінювати ступінь небезпеки очисних реагентів для здоров'я користувачів басейнів та водних процедур пропонується за п'ятибальною шкалою, за якою у міру наростання показника нарастає і небезпека. Максимальний п'ятибальний показник небезпеки для здоров'я користувачів тут умовно надано 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 на питну.

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

$$K_{\text{еф}} = \{ (k \cdot T) / [k_n \cdot (V + Z_y)] \} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Зрозуміло: що вищий 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. Насамперед йдеться про цільове використання аналізованого басейну. Так, наприклад, коли воду басейну використовуватимуть для вирощування малька та молодняка риби, найефективнішими є методи очищення води гашеним вапном, яке не тільки очищає воду від мікроорганізмів, а й сповільнює ріст шкідливих аеробних (киснепоглинальних) водоростей. Для збереження води технічних водойм переважно достатньо звичного її хлорування, для очищення води спортивних арен достатньо ефективно використовувати пероксид водню, для басейнів широкого громадського використання із міркувань санітарії бажані такі фізичні методи водоочищення, як електролізне, кавітаційне чи комбіноване електролізно-кавітаційне. Окремо із позицій підвищених санітарно-гігієнічних норм розглядають дитячі басейни, в яких навіть недефективне 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. 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 $K_{\text{еф}}$ витрати на придбання водоочисного устаткування, на вишкіл та заробітну плату обслуговувального його персоналу тощо враховуються у витратах на очищення одиниці об'єму води V , грн.

Звичайно, для великих 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

завуальовані певні небезпеки. Аби запобігти банкрутству, слід дуже зважено 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, що вища якість води, то для більшої кількості відвідувачів бажаним є використання саме цього басейну. Однак висока якість води пов'язана із вартісними технологіями та дорогим обладнанням, що неодмінно підвищить вартість наданих послуг. Вища вартість послуг може виявитись недоступною для частини відвідувачів, що може призвести до зменшення їх загальної кількості. А це вже небезпека втрати рентабельності!

Тому для оцінювання доцільності запровадження нових водоочисних технологій і пропонується методика визначення ефективності їх водопідготовки. Розраховану за формулою (1) ефективність водоочисних технологій наведено в таблиці. Проілюстровано показники лише найпоширеніших водоочисних технологій. Зрозуміло, що ця методика порівняльного аналізу придатна і для будь-яких інших процесів водоочищення.

За змінами числових значень показника K_{ef} ефективності водоочисних технологій простежуються певні закономірності. Зайвий раз проілюстровано, що осібно 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_{ef} для високоефективного із позицій ступеня очищення озонування теж має своє тлумачення. Причинами цього є доволі відчутна вартість отримання озону в поєднанні із незначною тривалістю збереження озонуючою водою набутих властивостей. Надлишковий газоподібний озон швидко випаровується із води в атмосферу, а збагачена киснем після взаємодії з озоном вода стає доволі поживним середовищем для шкідливих киснепоглинальних 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 зростають витрати на спожиту пристроями для утворення озону електроенергію. Однак, як згадано вище, коли йдеться про здоров'я дітей і економічні витрати відходять на другий план – озонування поза конкуренцією.

Показник K_{ef} ефективності водоочисних технологій

№ з/п	Технології водопідготовки та водоочищення	Витрати на очищення одиниці об'єму води – В, грн/ дм ³	Витрати на утилізацію одиниці об'єму води – З _у , грн./дм ³	Тривалість зберігання очищеної води – Т, діб	Ступінь очищення води – k, %	Коефіцієнт небезпеки для здоров'я користувачів – k _н	Показник ефективності очищення води – K_{ef} , %
I	РЕАГЕНТНІ (хімічні) методи						
1.1	Хлорування	5	1	4	0,85	5	11,3
1.2							
1.3	Пероксид водню	7	0,5	4	0,9	2	24
II	ФІЗИЧНІ						
II.1	Електролізне очищення	15	–	6	0,95	1,5	25,3
II.2	Кавітаційне	8	–	7	0,95	1,5	55,5
III	ФІЗИКО-ХІМІЧНІ методи						
1	Озонування	10	–	4	0,99	1,1	36

Дещо схожою є ситуація із методом очищення води перемінним магнітним полем високої напруженості. Короткотривалий ефект надзвичайно високий, але тривалість зберігаються властивості води лише годинами. Мабуть саме тому метод магнітної обробки та реструктуризації води використовують переважно для лікувальних цілей.

Отже, можна стверджувати, що запропонована методика порівняльного оцінювання технологій водопідготовки для водойм широкого громадського використання, яка ґрунтується на визначеному за допомогою математичної залежності показнику $K_{\text{еф}}$ ефективності, доволі об'єктивно відображає переваги та недоліки тих чи інших методів водоочищення. Її застосування дає змогу віддати перевагу тому чи іншому водоочисному процесу не лише на основі, здавалось би, найвагомшого показника забезпечуваного ступеня очищення води, а й враховуючи економічні показники його використання. Окрім того, ця методика може слугувати відправною точкою при підрахунку вартості гідрооздоровчих послуг для користувачів.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Основними критеріями при виборі технологій водопідготовки для водойм широкого громадського використання повинні слугувати показники, що відображають не лише ступінь очищення та знезараження води, а і вплив очисних технологій на здоров'я користувачів.

Розроблена методика порівняльної оцінки ефективності водоочисних технологій ґрунтується на математичному визначенні комплексного показника $K_{\text{еф}}$, який враховує і органічно поєднує витрати на очисні операції із показниками соціальної вигоди та безпеки споживачів гідрооздоровчих послуг.

Порівняння числових значень показника $K_{\text{еф}}$ ефективності водоочисних технологій відображає незаперечну перевагу поміж використовуваними для очищення води басейнів та аквапарків технологіями фізичних методів водопідготовки. Особливо перспективним тут є застосування кавітаційних водоочисних методів, які органічно поєднують незначні енерговитрати із високими продуктивністю та ступенем знезараження води.

1. Струтинська Л. Р. Інноваційні процеси водопідготовки як напрям екологічного маркетингу / Л. Р. Струтинська, Н. П. Любомудрова, С. В. Андрусів // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка» «Логістика». – Львів, 2012. – № 749. – 562 с., С. 285–290. 2. Шевчук Л. І., Коваль І. З., Строган О. І. Сучасні технології водопідготовки аквапарків / Науково-виробничий журнал «Водне господарство України». – К., 2012. – № 5(101). – С. 30–34. 3. Шевчук Л. І., Старчевський В. Л., Коваль І. З., Строган О. І. Низькочастотні вібраційні кавітатори: монографія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 176 с. 5. Шевчук Л. І., Старчевський В. Л., Строган О. І. Електролізно-кавітаційне очищення та знезараження води басейнів, аквапарків та водойм громадського використання // Науково-виробничий журнал «Водне господарство України». – К., 2013. – № 6(108). – С. 29–34.