

ПЕРСПЕКТИВИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ В ТЕХНОЛОГІЯХ БУТИЛЬОВАНИХ ПИТНИХ ВОД

Прибильський В. Л., Дулька О. С., Федосов О. Л.

ВСТУП

Однією з головних проблем розвитку суспільства є необхідність забезпечення населення якісною питною водою. При цьому необхідно дотримуватись балансу між існуючими потребами громадян і захистом інтересів майбутніх поколінь. В умовах зростання антропогенного навантаження на джерела водопостачання ця проблема набуває особливого значення. Наявність безпечної для життя і здоров'я людини питної води є невід'ємною умовою дотримання і реалізації умов використання довкілля.

Законодавство України передбачає захист прав споживачів, зокрема забезпечення питною водою високої якості в межах науково обґрунтованих норм залежно від регіону та умов проживання. Задоволення потреб населення у питній воді є пріоритетним розвитком систем питного водопостачання та водовідведення¹.

На державному рівні повинні вирішуватись питання забезпечення споживачів якісною питною водою. Необхідним є дотримання вимог Закону України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення»². Внаслідок мікробіологічного забруднення питної води, що обумовлено незадовільним екологічним станом джерел водопостачання, значною загрозою є погіршення санітарно-епідемічного стану більшості територій країни.

У системі заходів забезпечення належної якості питної води важливе місце займає її знезараження, що передбачає знищення або видалення мікроорганізмів, зокрема збудників інфекційних захворювань.

¹ Про питну воду та питне водопостачання : Закон України від 10 січня 2002 р. № 2918–III. *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text> (дата звернення: 26.04.2023).

² Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення : Закон України від 24 квітня 1994 р. № 4004-12. *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text> (дата звернення: 20.04.2023).

Найбільш поширеним реагентним способом знезараження у централізованих водогонях є хлорування. Цей спосіб є ефективним, однак сприяє утворенню канцерогенних речовин^{3,4}.

Технології бутильованих питних вод (БПВ) передбачають різні способи оброблення, у т. ч. реагентні. Залежно від потреб застосовуються фізичні та хімічні способи.

Актуальним є дослідження та систематизація способів знезараження у технологіях бутильованих (фасованих) питних вод.

1. Передумови необхідності знезараження бутильованої води

Організація Об'єднаних Націй визнала воду одним з найважливіших ресурсів на планеті, без яких неможливе життя як таке, а доступ до джерел чистої води є одним із найважливіших показників сталого розвитку нації, держави. Вода є основною складовою живих організмів, необхідною умовою для життя, виконує фізико-хімічні функції, що забезпечують перебіг біохімічних процесів. Вода виконує також оздоровчу, санітарну, господарсько-побутову, виробничу та інші функції в життєдіяльності людини. Фізіологічна потреба у питній воді дорослої людини в умовах помірного клімату складає 2...3 дм³ на добу⁵.

Організм людини чутливий до порушення водного балансу. Зменшення вмісту води у клітинах і тканинах людського організму призводить до зміни їх функцій. Із втратою води в кількості 7 % від маси тіла можливе часткове запаморочення. Втрата організмом близько 10 % води викликає порушення ковтального рефлексу, галюцинації, глухоту та запаморочення. При втраті організмом понад 12 % вологи функціонування клітин організму стає неможливим.

У світі спостерігається помітне скорочення запасів питної води з традиційних джерел. Пропорційно зростанню кількості населення збільшуються витрати прісної води для фізіологічних потреб та виробництва продуктів побуту людини⁶.

³ . Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems. Available at: URL: <https://www3.epa.gov/npdcs/pubs/primer.pdf> (дата звернення 15.03.2023).

⁴ Прибильський В. Л., Остапенко В. В. Яку воду можна пити? *Харчова і переробна промисловість*. 2004. № 3. С. 4–5.

⁵ Осадчий В. І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін. *Вісник Національної академії наук України*. 2017. № 8. С. 29–46.

⁶ Хвесика М. А. Водні ресурси на рубежі XXI ст. проблеми раціонального використання, охорони та відтворення. Київ : РВПС України НАН України, 2005. 460 с.

Відомо, що питна вода є активним чинником впливу на здоров'я людини і першопричиною виникнення небезпечних захворювань. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) вона містить біля 13 тис. токсичних елементів і є причиною понад 80 % захворювань⁷.

ВООЗ зазначає, що в світі щороку біля 2 млн населення помирає від хвороб, які передаються із водою. Директива 2020/2184 Європейського парламенту та рішення Ради ЄС від 16 грудня 2020 року щодо якості води, призначеної для споживання людиною регулює якість та безпечність питної води в Європі, зокрема в Україні⁸. Тому забезпечення населення якісною і безпечною питною водою є однією з актуальних і важливих завдань сьогодення.

Вимоги ВООЗ передбачають нормування визначених критеріїв для питної води: мікробіологічні показники, вміст органічних та неорганічних сполук, радіоактивність, вміст пестицидів та речовин. Ці речовини застосовуються або утворюються під час знезараження води⁹.

Найбільш негативний вплив питної води на здоров'я людини спричиняють її мікробіологічні забруднення. Безпечність води можливе за умови дотримання таких умов¹⁰:

- ефективність знезараження повинно забезпечувати видалення патогенних і зниження вмісту індикаторних мікроорганізмів до рівня, установлених санітарними нормами;
- безперервність знезараження повинне проводитись постійно, регулярно;
- надійність системи водоготування із забезпеченням ефективного знезараження у найбільш несприятливі періоди року;
- безпечність для людини (у процесі знезараження не повинні утворюватися токсичні речовини у кількостях, що перевищують гранично допустимі концентрації);

⁷ Світа В. В. Вода як фактор передачі збудників інфекційних захворювань. *Профілактична медицина СЕС*. 2007. № 1. С. 72–74.

⁸ Директива Європейського Союзу про якість води, призначеної для споживання людиною, 2020/2184 від 16 грудня 2020 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MU98318> (дата звернення 21.04.2023).

⁹ Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064> (дата звернення 1.05.2023).

¹⁰ Rosario-Ortiz F., Rose J., Speight V., Gunten U. V., Schnoor J. How do you like your tap water? *Science*. 2016, № 351 (6276), P. 912–914. DOI: <http://doi.org/10.1126/science.aaf0953>

– екологічна безпека (утворені продукти не повинні негативно впливати на довкілля або при їх утворенні потрібно передбачати їх видалення).

У більшості територій України вода, що споживається населенням не відповідає нормативним вимогам, зокрема у Донецькій, Луганській, Харківській, Дніпропетровській, Запорізькій та Кіровоградській областях. Таке положення погіршилось у 2022 році, що безпосередньо пов'язане із початком повномасштабного військового наступу РФ на громади України. У всіх регіонах країни спостерігається підвищення забрудненості питної води. Її споживання призводить до інфекційних хвороб та є переважною причиною хвороб нирок, зубів, серцево-судинної системи тощо¹¹.

Більшість міського населення України споживає воду з централізованих водогонів. При цьому використовуються переважно бюветні (артезіанські) води. У більшості громад України такі води добуваються із глибини 200...500 м, які формувалися в Юрський та інші періоди мезозойської ери і мають відповідні назви – Юрський (глибина – 256...340 м), Сенюманський (глибина – 90...195 м) та Бучакський (до 100 м) водоносні горизонти¹².

Показники питної водопровідної води, що надходить до споживачів суттєво відрізняються від нормативних вимог, що зумовлено головним чином вторинним забрудненням мереж водопостачання. Тому в Україні, як і в інших країнах світу, значного поширення набувають бутильовані питні води.

Український ринок питної бутильованої води перебуває на стадії формування. Його насиченість становить 25...30 %, тоді як у розвинених країнах цей показник сягає 80...90 %¹³. Тому зростання ринку бутильованої води в Україні у найближчому майбутньому є очевидним.

В Україні технології бутильованої води передбачають переважно використання способів доочищення із застосуванням фільтрування, коагуляції, озонування, обробки ультрофіолетовими (УФ) променями, зворотнього осмосу та ін. Однак, артезіанська вода після такої обробки не завжди зберігає свої природні корисні властивості.

¹¹ Rosario-Ortiz F., Rose J., Speight V., Gunten U. V., Schnoor J. How do you like your tap water? *Science*. 2016, № 351 (6276), P. 912–914. DOI: <http://doi.org/10.1126/science.aaf0953>

¹² Остапенко В. В. Удосконалення технології бутильованих питних вод : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.05. Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2008. 234 с.

¹³ Литвиненко Т. Фасована питна вода: вимоги до складу, зберігання та маркування. *Управління якістю*. 2019. № 5 (17). С. 63–65.

Актуальність забезпечення населення України якісною питною водою набуло особливого значення у зв'язку із воєнним станом. Відомо, що воєнні дії порушують роботу систем водопостачання і негативно впливають на соціально-економічний розвиток її регіонів¹⁴. За даними Світового банку, населення в країнах, що перебувають у стані війни по різному страждає внаслідок відсутності чи недостатнього доступу до якісної питної води або погіршення її санітарного стану. Бойові дії безпосередньо впливають на поверхневі та підземні води високих горизонтів. За оцінками Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України станом на червень 2022 р. збитки екосистем перевищують 200 млрд грн¹⁵.

Тому забезпечення населення питною водою належної якості та в достатніх обсягах є одним з пріоритетних соціальних напрямів розвитку держави. Наявність забруднених поверхневих та підземних вод, ускладнення доступу населення до питної води, зокрема з причин руйнування об'єктів критичної інфраструктури обумовлює необхідність збільшення обсягів виробництва бутильованих вод. При цьому необхідною умовою є забезпечення мікробіологічної чистоти готової продукції для запобігання поширення інфекційних та інших захворювань.

З урахуванням наведених підстав збільшення виробництва бутильованої питної води із тривалим терміном зберігання є актуальним питанням сьогодення, що потребує ефективних рішень. Головною умовою у технологіях БПВ є забезпечення нормативних мікробіологічних показників готової продукції протягом тривалого часу зберігання та використання.

Таким чином, дослідження і впровадження сучасних ефективних способів знезараження питної води у технологіях бутильованих вод із збереженням її природної структури потребують нових підходів.

2. Характеристика показників якості води

Нормативи ВООЗ передбачають гранично-допустимі концентрації для 99 сполук. У стандартах США (EPA Safe Drinking Water Act) регламентуються 87 показників (53 органічних, 16 неорганічних

¹⁴ Schillinger J, Özerol G, Güven-Griemert S, Heldeweg M. Waterinwar: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>

¹⁵ Міндовкілля оцінює екологічні збитки від війни у 200 млрд грн. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/dovkillia-ukrainy-duzhe-poterpaie-vid-viiny> (дата звернення 10.04.2023).

та 7 мікробіологічних). Нормативи ЄС (EU Water Framework Directive) передбачають 49 показників.

Кількість контрольованих показників постійно зростає із зниженням їх допустимих кількостей. Це пов'язано із можливістю визначати показники на існуючих приладах у більш низьких концентраціях та результатами токсико-хімічних досліджень. Наприклад, у 2005 р. вимоги ВООЗ за вмістом арсену у питній воді знижено з 50 до 10 мкг/дм³¹⁶.

ДСанПін 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» включає 83 показники (11 мікробіологічних, 64 хімічних і органолептичних, 8 радіоактивних). У стандарті ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості регламентовано 80 показників якості води.

Нормативні документи України передбачають різні підходи державних органів України до нормування та контролю якості питної води.

За ДСанПін 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» передбачено показники епідеміологічної безпеки, санітарно-хімічні показники безпечності та якості, радіаційні показники безпеки, зокрема показники альфа- та бета-активності, показники фізіологічної повноцінності мінерального складу¹⁷.

За ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» регламентовано мікробіологічні, вірусологічні, паразитологічні, мікологічні показники якості¹⁸. Наведено вимоги до рівня токсичності питної води, показники радіаційної безпеки, органолептичні, хімічні показники, що впливають на органолептичні властивості питної води, токсикологічні показники нешкідливості хімічного складу, а також вміст речовин, що утворюються і надходять у питну воду під час водоготування.

¹⁶ Глобальна щорічна оцінка стану санітарії та водопостачання в рамках Механізму ООН по водних ресурсах: Цільове використання ресурсів для досягнення прогресу. Вода, санітарія, гігієна *Офіційний сайт Всесвітньої організації охорони здоров'я* URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/9789241599351/ru/index.html (дата звернення 22.03.2023).

¹⁷ Державні санітарні правила і норми СанПін 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (затверджено наказом МОЗ України 12.05.2010 № 400, зареєстровано Міністерством України 01.07.2010. № 452/17747).

¹⁸ ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Текст]. Чин. 2014–23–10. Київ : Держспоживстандарт, 2014. 28с.

За наявної різниці у підходах оцінки якості питної води головними критеріями залишаються органолептичні, фізико-хімічні показники та безпекові характеристики.

Органолептичні показники питної води залежно від джерела водопостачання визначаються за показниками запаху (за температури 20 °С), смаку та присмаку – від 0 до 3 балів; забарвленості – не більше 10...35 градусів; каламутності – не більше 0,5...3,5 нефелометричних одиниць каламутності¹⁹.

Фізико-хімічні показники води визначають її фізичні та/або хімічні властивості. Фізичні властивості – вміст завислих речовин, колірність, температура, електропровідність. Вода поверхневих джерел може мати колірність від 0...10 до 150...300 град. ПКШ, температуру 0...25 °С. Води підземних джерел захищених горизонтів мають температуру 7...15 °С.

Хімічні показники визначаються кількістю розчинених речовин. Найбільш значимими є рН (6,5...8,0), загальна жорсткість (для поверхневих вод 2...8 ммоль/дм³, для підземних 2...14 ммоль/дм³ і більше), сухий залишок (залежить від мінералізації, для вод мінералізованих більше 1000 мг/дм³), вміст заліза (до 1...2 мг/дм³ для поверхневих вод і 1...10 мг/дм³ для підземних), окиснюваність (2 мг/дм³ і більше) тощо²⁰.

Із безпекових показників слід виділити токсикологічні, мікробіологічні та радіологічні.

Токсикологічні показники характеризують ступінь безпеки хімічного складу води. Ці речовини вносяться в результаті промислового, сільськогосподарського, побутового та інших забруднень джерел водопостачання. До них належать сполуки, що містять алюміній та поліакриламід (за обробленням води способом коагуляції), берилій, молібден, миш'як, нітрати, нітрити, свинець, селен, фтор.

Радіаційні показники води зумовлені наявністю радіонуклідів. Під час гігієнічної оцінки радіаційної безпечності питної води у місцях водозаборів поверхневих та підземних джерел питного водопостачання визначаються питомі сумарні α - і β -активності. Сумарна α -активність не повинна бути більшою за 0,1 Бк/дм³, сумарна β -активність – не більше 1 Бк/дм³. При цьому слід враховувати, що у разі встановлення перевищення питомої сумарної α -активності у

¹⁹ Держвані санітарні правила і норми СанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (затверджено наказом МОЗ України 12.05.2010 № 400, зареєстровано Міністерством України 01.07.2010. № 452/17747).

²⁰ Ibid.

питній воді необхідно визначати питому сумарну активність природної суміші ізотопів урану, питомі активності радію та радону, а у разі встановлення перевищення питомої сумарної β -активності – питомі активності цезію та стронцію^{21, 22}.

Мікробіологічні показники характеризують епідеміологічну безпеку питної води. Їх перевищення може призвести до виникнення інфекційних хвороб у людини. До цих показників відносяться колі-індекс, що характеризують ступінь бактеріального забруднення води, а також загальне мікробне число, яке характеризує загальний вміст мікроорганізмів.

Колі-індекс (індекс БГКП) є кількісним показником можливого фекального забруднення води або харчових продуктів. Визначається числом клітин кишкової палички *Escherichia coli* в 1 дм³ води. Питна вода не повинна мати колі-індекс більше 3. Раніше у питній воді визначали, також, колі-титр тобто мінімальний об'єм води, в якому міститься одна кишкова паличка. Цей показник безпосередньо пов'язаний із колі-індексом. Мікробне число – загальна кількість бактерій в 1 см³ води²³. Загальне мікробне число є індикатором загального бактеріологічного забруднення води, різке зростання якого характеризує виникнення джерела забруднення, у тому числі чинників вторинного розмноження мікрофлори і не повинне перевищувати 100²⁴.

Контроль за епідеміологічною безпекою водних джерел на різних стадіях водопідготовки здійснюється також за показником загальної кількості коліфагів. До коліформ (клас грамнегативних паличок), крім *E. coli*, відносять також *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Enterobactercloasae*, *Citrobacterfreundii*. Коліформи зазвичай не викликають серйозних захворювань, проте їх використовують як санітарно-показові (маркерні) мікроорганізми. Їх значна кількість свідчить про

²¹ Держвані санітарні правила і норми СанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (затверджено наказом МОЗ України 12.05.2010 № 400, зареєстровано Міністерством України 01.07.2010. № 452/17747).

²² Запольський А. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.

²³ Держвані санітарні правила і норми СанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (затверджено наказом МОЗ України 12.05.2010 № 400, зареєстровано Міністерством України 01.07.2010. № 452/17747).

²⁴ Bordiuh N, S., Patyka V. P. Otsinka stanu yakosti pytnoi vody detsentralizovanoho vodopostachannia za epidemiolohichnym pokaznykom. *Naukovi dopovidi NUBiP*. 2010. № 1 (17). URL: <http://nd.nubip.edu.ua/2010-1/10bnsqei.pdf> (дата звернення: 02.05.2023).

наявність більш патогенних бактерій та вірусів^{25, 26}. Крім цього визначають термостабільні кишкові палички, сульфіторедукувальні клостридії, ентеровіруси, аденовіруси, ротавіруси, реовіруси та ін. Їх присутність у питній воді не допускається²⁷.

На формування показників води суттєво впливає контакт із різними породами та ґрунтами та його тривалість. Підземні води характеризуються, як правило, відносно стабільними показниками особливо для глибинних горизонтів, що не залежить від кліматичних умов. На воду із джерел неглибокого залягання впливають ґрунтово-геологічні характеристики долини, топографічні умови та пов'язані з ними швидкість потоку води, кліматичні особливості тощо.

На показники води впливає також промислова діяльність людини (будівництво гребель, скидання стічних вод, використання добрив). Більшість підземних вод України задовольняють діючим вимогам щодо питної води.

Виробництво бутильованих питних вод із різних джерел водопостачання повинне передбачати збереження природного складу води або його корегувати, використання ефективних способів водоготування із забезпеченням тривалого терміну зберігання готової продукції. Біологічна стійкість БПВ є головною умовою забезпечення тривалого зберігання готової продукції, залежить від застосованих способів водопідготовки на всіх технологічних стадіях і безпосередньо впливає на органолептичні властивості готової продукції, її безпечність та корисність.

3. Аналіз наявних способів знезараження бутильованої води

Дослідження мікробіологічного складу питної води поверхневих і підземних джерел водопостачання України свідчать про її

²⁵ Bordiug N, S. . The analysis of sanitary quality of outplant drinking water. *Technology Audit and Production Reserves*. 2013 № 5, P. 49–51. DOI: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.18281> (дата звернення: 15.04.2023).

²⁶ Price, R. G., Wildeboer, D. E. coli as an Indicator of Contamination and Health Risk in Environmental Waters. *Escherichia Coli – Recent Advances on Physiology, Pathogenesis and Biotechnological Applications*. (2017). DOI: <http://doi.org/10.5772/67330> (дата звернення: 20.03.2023).

²⁷ Bordiuh N, S. , Patyka V.P. Otsinka stanu yakosti pytnoi vody detsentralizovanoho vodopostachannia za epidemiolohichnym pokaznykom. *Naukovi dopovidi NUBiP*. 2010. № 1 (17). URL: <http://nd.nubip.edu.ua/2010-1/10bnsqei.pdf> (дата звернення: 02.05.2023).

невідповідність існуючим вимогам^{28, 29, 30, 31}. За результатами досліджень показників питної води Київським інститутом екогігієни і токсикології ім. Л. Медведя визначено, що біля 45 % населення України вживають воду, що не відповідає нормам ДСанПін 2.2.4-171-10³².

Якість води суттєво визначає характер та рівень інфекційних захворювань населення. Більшість хвороб розповсюджуються із вживаною водою. За даними МОЗ України щороку реєструються спалахи гострих кишкових інфекційних хвороб, вірусного гепатиту А та інших захворювань, які переносяться питною водою^{33, 34}.

Виробники БПВ використовують різні способи водоготування для підвищення якості готової продукції. В Україні набувають поширення стандарти ISO серій 9000, 14000, 22000, вимоги НАСР та GMP. Їх впровадження дозволяє не тільки підвищити якість готової продукції, але й забезпечити високий рівень технологій^{35, 36, 37, 38, 39}.

²⁸ Price, R. G., Wildeboer, D. E. coli as an Indicator of Contamination and Health Risk in Environmental Waters. *Escherichia Coli – Recent Advances on Physiology, Pathogenesis and Biotechnological Applications*. (2017). DOI: <http://doi.org/10.5772/67330> (дата звернення: 20.03.2023).

²⁹ Бордюк Н., Рашенко А., Фещенко О., Сарган П. Мікробіологічна оцінка якості питної води на різних етапах водопідготовки. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2020 № 2 (52), 4–8. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.200023> (дата звернення: 24.03.2023)

³⁰ Денис О. Вода для сталого зростання. *Вода і водоочисні технології*. 2016. № 1–2 (79–80). С. 46–49.

³¹ Стратегічні напрямки розвитку водопостачання в Україні: *Водопостачання. Водовідведення*. 2020. № 3. С. 11–15.

³² Державні санітарні правила і норми СанПін 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (затверджено наказом МОЗ України 12.05.2010 № 400, зареєстровано Міністерством України 01.07.2010. № 452/17747).

³³ Мокієнко А. В., Ковальчук Л. Й., Крісілов А. Д. Якість води поверхневих водойм як фактор ризику для здоров'я населення. *Вісник Національної академії наук України*. 2017. № 10. С. 42–52.

³⁴ Дрикер Е. Карта якості води України – Центральний регіон. *Вода і водоочисні технології*. 2019. № 3 (93). С. 34–38.

³⁵ Стрікаленко Т. В. Вода – харчовий продукт. *Водопостачання. Водовідведення*. 2017. № 1. С. 16–19.

³⁶ Артгерц Р. Вода. Стандарти ISO і протокол з проблем води і здоров'я. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2010. № 1 (62). С. 17–18.

³⁷ Полищук А. А. Про створення і виконання норм якості води. *Водопостачання. Водовідведення*. 2018. № 4. С. 17–21.

³⁸ Цветкова Г., Захарченко Н. Протокол про воду і здоров'я як інструмент національної водної безпеки. *Екологія підприємства*. 2020. № 2 (91). С. 14–19.

³⁹ Почекайлова Л. П. Міжнародні, європейські та національні стандарти щодо послуг водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2019. № 1. С. 44–49.

Поряд із органолептичними і фізико-хімічними характеристиками особливе значення мають мікробіологічні показники. Перехід підприємств на сучасні стандарти якості передбачає організацію технологічного процесу таким чином, щоб забезпечити мікробіологічну чистоту готової продукції. Знезараження є необхідною складовою сучасних технологій бутильованих питних вод.

Способи знезараження води можна поділити на реагентні (хімічні), безреагентні (фізичні) та комбіновані⁴⁰. Класифікацію способів знезараження питної води наведено на рис. 1.



Рис. 1. Способи знезараження питної води

Використання фізичних способів знезараження характеризується використанням хвиль різної довжини, високої температури та фільтрування. Із фізичних способів найбільш поширеними у виробництві бутильованих вод є ультрафіолетове оброблення. Мембранні технології найбільш поширені у технологіях алкогольних напоїв. Використання ультразвуку можливе після доведення його бактерицидних властивостей. Кип'ятіння мало поширене у технологіях бутильованих вод з причини високих енергетичних витрат. Перспективним є використання ультразвукових хвиль.

Хімічні способи передбачають дію окиснювачів на ферментну систему мікроорганізмів або блокування їх життєдіяльності. Із

⁴⁰ Кравченко В. А., Кравченко О. В., Панченко О. С. Аналітичний огляд методів знезараження пинної води в системах водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2017. № 3. С. 19–29.

хімічних способів найбільш поширеними є окиснювальні, зокрема хлорування, яке використовується переважно у технологіях водопостачання централізованих мереж. Озонування та олігодинамічні способи використовуються рідко. Неокиснювальні препарати мають блокуючу дію на молекулярному рівні. Їх використання є найменш дослідженими у технологіях підготовки води, однак можуть використовуватись у антисептуванні для забезпечення тривалого зберігання готової продукції.

Комбіновані способи включають використання фізичних та хімічних способів знезараження на різних технологічних стадіях.

В розвинених країнах світу прогресує впровадження додаткових способів знезараження води при цьому використовують також електрофорез, електрокоагуляцію, електричні розряди, комплекси електричних впливів, гіперфільтрацію, іонізуюче випромінювання. Ці способи знезараження мають переваги та недоліки⁴¹.

Нижче наведено характеристики способів знезараження води.

Ультрафіолетове оброблення є одним із найбільш ефективних фізичних способів знезараження води і тому широко застосовується у технологіях водоготування.

Більшість підприємств з виробництва бутильованої питної води передбачають у технологічних схемах водопідготовки стадію ультрафіолетового (УФ) опромінення⁴². За даними міжнародних експертів в останнє десятиріччя щорічний приріст обсягів впровадження УФ-обладнання у муніципальні і промислові системи водогонів та каналізації складає близько 40 %. Інтерес до УФ-знезараження викликаний, насамперед, зростаючими вимогами до якості питної води, у т.ч огляду нешкідливості побічних продуктів обробки.

Використання УФ-випромінювання є достатньо ефективним способом дезактивації водних хвороботворних мікроорганізмів і вірусів, не викликає погіршення запаху та присмаку води, не забруднює воду токсичними побічними продуктами. Його впровадження забезпечено існуючою потужною виробничою базою сучасного обладнання.

На початку широкого впровадження інтерес до УФ-опромінювання зумовлювався його бактерицидною дією на патогенні та індикаторні бактерії. Наприклад, *Cryptosporidium*, які здатні

⁴¹ Астрелін І., Герасимов Є., Гіроль М. Фізико-хімічні методи очищення води. Керування водними ресурсами : підручник. Київ : Вольф, 2015. 577 с.

⁴² Clancy J. L., Bukhari Z., Hargy T. M., Bolton J. R., Dussert B. W., Marshall M. M. Using UV to inactivate *Cryptosporidium*. *Journal – American Water Works Association*. (2000). № 92 (9), P. 97–104.

утворювати цисти є досить стійкими до окислювачів і практично не інактивуються при хлоруванні. Ефективність до них діоксиду хлору і озону незначна і суттєво зменшується при зниженні температури. Водночас ефективність дії на них УФ-опромінювання досить висока і практично не залежить від температури та має значну віруліцидність⁴³.

Ефективність бактерицидної дії УФ-променів залежить від тривалості та інтенсивності опромінення, а також від наявності зависі, колоїдних домішок та барвних речовин, які розсіюють чи поглинають світло та перешкоджають проникненню променів у шар води. Тому знезараженню слід піддавати воду після попереднього звільнення від зважених і колоїдних домішок. До дії УФ-променів найбільшу опірність мають бактерії кишкової палички. Її наявність чи відсутність свідчить про ефективність знезараження води⁴⁴.

Розрізняють два способи УФ-опромінення – імпульсне з широким спектром хвиль і постійне – у визначеному діапазоні хвиль. Фотохімічні процеси практично не залежать від рН і температури води, її хімічного складу. Як правило, застосовують УФ з довжинами хвиль 253,7 нм і 185 нм. Обробка води УФ-променями з довжиною хвилі 185 нм більш ефективна. При цьому утворюється озон та вільні радикали гідроксилу.

Спосіб УФ-опромінення не передбачає оперативного контролю процесу знезаражування. Колі-індекс води після такого знезараження визначається після 24 годин експозиції.

Як зазначалось вище, існує залежність бактерицидного ефекту від мутності та колірності води, виду мікроорганізмів, їх кількості, дози опромінювання, типу установки. Тому цей спосіб доцільно застосовувати лише після очищення води⁴⁵. На відміну від реагентних способів після обробки УФ-опроміненням у воді не міститься дезінфектант, що обмежує використання цього способу, у т. ч. в практиці централізованого питного водопостачання. УФ перспективно застосовувати комплексно з іншими способами знезаражування. Постійне зростання вимог щодо якості питної води та охорони довкілля з урахуванням зростаючого забруднення джерел

⁴³ Сусь М. Ультрафіолетові технології – панацея в обеззараженні води. *Вода і водоочисні технології*. 2014. № 2 (72). С. 4–15.

⁴⁴ Светлейша, О. М. Оптимізація процесу очищення природної води методом ультрафільтрації: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.21 Національний технічний університет України «КПІ». Київ, 2014. 21 с.

⁴⁵ Поляков, Д. В. Нанотехнології в водо підготовці. *Вода і водоочисні технології*. 2009. № 4–5 (34–35). С. 70–72.

питного водопостачання зумовлюють необхідність використання інших підходів до знезаражування, зокрема основаних на синергізмі декількох способів на різних технологічних стадіях⁴⁶.

Розповсюдженість способу УФ-знезараження пояснюється його універсальністю і ефективністю впливу на широкий спектр мікроорганізмів, відсутністю потреби у додатковому введенні реагентів, екологічності, безпечності для життя та здоров'я людини, простотою обслуговування обладнання, низькими капітальними та експлуатаційними витратами.

Однак, після загибелі клітинні стінки та білкові фрагменти мікроорганізмів залишаються у воді. Тому після оброблення воду бажано піддавати мікро-, ультра- або нанофільтруванню та застосувати на заключному (контрольному) етапі додаткові способи знезараження. Слід також враховувати, що застосування УФ-опромінення для бактерицидної обробки тари є неефективним⁴⁷.

На підприємствах США, Великої Британії, Франції, Канади та інших розвинених країн доза випромінювання для знезараження води становить від 50...100 МДж/см². В Україні таке нормування відсутнє.

Таким чином, використання УФ-опромінення в технології БПВ є ефективним способом знезараження і не передбачає введення у воду хімічних реагентів. При цьому не змінюються фізико-хімічні та органолептичні властивості продукту. Серйозним недоліком застосування цього способу є відсутність пролонгованості дії, що зумовлює ризики повторного інфікування води на подальших технологічних стадіях та при зберіганні готової продукції в споживчій тарі. Отже, такий спосіб потребує додаткових заходів забезпечення мікробіологічної чистоти готової продукції при його зберіганні.

Знезараження води ультразвуковими хвилями передбачає використання механічних коливань частотою 20 кГц і більше. Бактерицидна дія ультразвукових хвиль на мікроорганізми відома давно, але єдиної теорії пояснення цих процесів досі немає. Одна з гіпотез пояснює знезаражувальну дію ультразвуку (УЗ) тим, що в ультразвуковому полі відбувається механічне руйнування мікроорганізмів в результаті кавітації. Автори посилаються на те, що

⁴⁶ Светлейша, О. М. Оптимізація процесу очищення природної води методом ультрафільтрації: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.21 Національний технічний університет України «КПІ». Київ, 2014. 21 с.

⁴⁷ Поляков, Д. В. Нанотехнології в водо підготовці. *Вода і водоочисні технології*. 2009. № 4–5 (34–35). С. 70–72.

найбільш чутливими до дії УЗ є ниткоподібні форми мікроорганізмів, а найменш – кулеподібні⁴⁸.

На відміну від ультрафіолетового випромінення бактерицидна дія УЗ практично не залежить від мутності і колірності води і значною мірою залежить від інтенсивності коливань. Збільшення ефекту знезараження можливе шляхом комбінування УЗ-обробки із хлоруванням або озонуванням⁴⁹.

Відомо, також, що ультразвук інтенсифікує процеси осадження, коагулювання, фільтрування, адсорбцію, окиснення⁵⁰.

Основними недоліками використання ультразвуку є його відносно низька ефективність, відсутність теорії механізму бактерицидної дії УЗ на клітини мікроорганізмів і відповідного обладнання, невизначеність із впливом УЗ на організм людини.

Таким чином, доцільність промислового застосування ультразвуку в технології водоготування є можливою, але сумнівною з точки зору фундаментальних досліджень і відсутності ефективних промислових установок.

Можливим способом знезараження питної води є використання **НВЧ-технологій** у межах 10...30 МГц. Бактерицидний ефект НВЧ пояснюється взаємодією електромагнітного поля з життєвоважливими складовими клітин. НВЧ широко використовуються на побутовому рівні для приготування та підігріву харчових продуктів.

Кип'ятіння може застосовуватись на підприємствах малої потужності і як правило обумовлене необхідністю зниження тимчасової жорсткості води. Спосіб забезпечує знищення вегетативних форм мікроорганізмів, однак не знищує спори та віруси. Його застосовують переважно у підготовці води для приготування напоїв переважно на побутовому рівні⁵¹.

Мембранні технології використовують для повного або часткового видалення іонів солей із води та розчинних органічних сполук. Їх використання супроводжується знеплідненням, оскільки

⁴⁸ Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води: навч. Посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с..

⁴⁹ Мальований М. С., Старчевский В. Л., Вронська Н. Ю. Комплексна адсорбційно-ультрозвукова технологія водоочищення. *Хімічна промисловість України*. 2012. № 6 (113). С. 49–52.

⁵⁰ Долінський А. А., Ободович О. М., Сидоренко В. В., Гусятинська Н. А. Реалії сьогодення та перспективи майбутнього підготовки питної і технологічної води. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24, № 2. С. 247–255.

⁵¹ Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с..

розмір іонів солей та більшості розчинних органічних сполук значно менші за розміри клітин мікроорганізмів.

Мембранні способи в останні десятиліття досить широко використовуються у промислових масштабах в США, Японії, Франції, та країнах Сходу (Саудівська Аравія, Кувейт та ін.)⁵².

Суть мембранних способів полягає у фільтруванні оброблюваної води під визначеним тиском на фільтрувальних елементах, які мають різний ступінь затримання забруднень.

Мембранні технології передбачають мікро-, ультра- та нанофільтрування. У поєднанні із мембранним фільтруванням використовують також електродіаліз, мембранну дистиляцію та інші способи.

Мікрофільтрування застосовують для відокремлення від води завислих та колоїдних часточок розміром 0,1...10 мкм. Нанофільтраційні елементи мають пори від 10 до 50 нм, їх використовують для пом'якшення води з підвищеною жорсткістю та для видалення іонів важких металів⁵³.

При мікрофільтрації відбувається достатньо ефективне очищення води від мікроорганізмів, її мінеральний склад не змінюється не суттєво^{54, 55}.

Ультрафільтрацію застосовують для доочищення питної води від колоїдних і високомолекулярних забруднень. Ультрафільтраційні мембрани мають пори розміром від 1 до 0,05 мкм. Їх використання малопоширене, оскільки не забезпечується видалення солей жорсткості, важких металів, нітратів⁵⁶. До переваг ультрафільтрації можна віднести високу ефективність знебарвлення, стерилізацію, низький робочий тиск, тривалий термін використання мембран, можливість повної автоматизації. Недоліками є

⁵² Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води: навч. Посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с.

⁵³ Долинський А. А., Ободович О. М., Сидоренко В. В., Гусятинська Н. А. Реалії сьогодення та перспективи майбутнього підготовки питної і технологічної води. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24, № 2. С. 247–255.

⁵⁴ Дейниченко Г. В., Гузенко В. В. Сучасні процеси водопідготовки та водоочищення. *Харківський державний університет харчування та торгівлі*. 2016. № 34. С. 4–6.

⁵⁵ Буртна І. А., Литвиненко Д. В. Огляд мембранних технологій очистки води у водопостачанні та водо підготовці. *СхідноЄвропейський журнал передових технологій*. 2012. № 3 С. 22–33.

⁵⁶ Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с..

неефективність знепліднення та неефективність до видалення солей жорсткості та важких металів, висока вартість обладнання⁵⁷.

Нанофільтрація має переваги тим, що нанофільтруючі мембрани видаляють з води практично усі колоїди, бактерії і віруси, катіони важких металів. Крім того відбувається ефективне зниження жорсткості, лужності і загального солемісту води⁵⁸.

Зворотний осмос є ефективним способом очищення води практично від усіх домішок. Зворотньоосмотичні мембрани мають пори розміром менше 10 нм і забезпечують видалення крім мікроорганізмів також органічні сполуки та більшість аніонів та катіонів солей.⁵⁹ Пориста структура мембран значно щільніша від мембран для ультрафільтрації. Спосіб передбачає не тільки ефективне видалення різних видів забруднень, у т. ч. мікроорганізмів, колоїдів й розчинених органічних сполук, а також уникнення фазових перетворень. Недоліками способу є значні витрати води та втрати корисних для людини іонів (кальцій, магній та ін.). Крім цього, експлуатація установок зворотного осмосу передбачає скидання в дренаж до 75 % води, тобто «на виході» отримується не більше 25...30 % готового продукту⁶⁰.

Таким чином, використання мембранних технологій є перспективним способом водоготування у виробництві БПВ як з точки зору знепліднення води, так і для забезпечення необхідного мінерального складу готової продукції, однак можуть застосовуватись у технологічних схемах виробництва питної води визначеного мінерального складу.

Із **хімічних способів** найбільш поширеними є окиснювальні. Використовують хлорування, озонування та ін. Окислювачами є сполуки на основі хлору (хлор-газ (Cl_2), двоокис хлору (ClO_2),

⁵⁷ Гулієнко С.В. Забруднення мембран та методи їх регенерації: критичний огляд. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2018. № 5. С. 43–48..

⁵⁸ Trus I. M., Gomelya M. D., Makarenko I. M., Khomenko A, S. , Trokhymenko G. G. The Study of the particular aspects of water purification from heavy metal ions using the method of nanofiltration. *Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychoho Universytetu*. 2020. № 4. P. 117–123.

⁵⁹ Гомеля М. Д., Трус І. М., Радовенчик В. М. Оцінка ефективності зворотньоосмотичного опріснення води після її пом'якшення на слабокислотному катіоніті. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014. № 3. С. 32–36..

⁶⁰ Трус І. М., Гомеля М. Д., Мельниченко С. В., Мігранова В. О. Очистка води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флоатцією. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1 (15). С. 204–213

гіпохлорит натрію (NaClO), гіпохлорит кальцію ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), хлорамін, озон (O_3); перманганат калію (KMnO_4), перекис водню (H_2O_2)⁶¹.

На більшості підприємств застосовують **хлорування**. Використовують водорозчинний газоподібний хлор або хлоровмісні препарати⁶². Цей спосіб використовують на централізованих системах водопостачання. Його використання є небезпечним і екологічно ризикованим, однак найбільш дешевим. Вперше хлорування застосували у 1894 р. в Німеччині. Спосіб передбачає знезаражувальну дію атомарного хлору на ферментативні системи мікроорганізмів^{63, 64}.

У країнах ЄС поверхневі води використовуються як джерела питної води, однак історично забруднені промисловими стоками. Для таких вод застосування хлору є доцільним.

Світовий досвід розвитку водопостачання свідчить про те, що немає підстав повністю відмовитись від використання газоподібного хлору як дезінфеканту питної води⁶⁵. Водночас, підвищена небезпека хлораторних об'єктів, технічні та економічні проблеми приведення їх у відповідність до сучасних вимог безпеки змушують підприємства шукати шляхи заміни його використання рідкого на альтернативні продукти, зокрема на хлоровмісні препарати. У більшості країн Європи головною причиною відмови від використання хлору є не тільки його небезпечність, але й утворення під час процесу знезараження тригалогенметанів, гранично допустимі концентрації яких у питній воді нормативно знижуються.

Одним з хлоровмісних препаратів є гіпохлорит натрію – натрієва сіль гіпохлоритної кислоти (NaClO). Цю сполуку видавництвом “Greenwood Press” внесено до списку «100 найважливіших хімічних

⁶¹ Міщанчук В. М., Гуменюк М. Б. Гігієнічна оцінка методів знезараження питної води централізованих систем водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 5. С. 16–21..

⁶² Shrivastava R., Upreti R. K., Jain S. R., Prasad K. N., Seth P. K., Chaturvedi U. C. Suboptimal chlorine treatment of drinking water leads to selection of multidrugresistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2004. № 58 (2). 277–283.

⁶³ Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J., Johnson, K. M. Chemistry. Microbiology and Biology of Water. *Water Supply*. (2009). № 6. P 195–266.

⁶⁴ Gerba C., Kennedy D. Enteric Virus Survival during Household Laundering and Impact of Disinfection with Sodium Hypochlorite. *Applied and Environmental Microbiology*. 2007. № 73 (14). P. 4425–4428..

⁶⁵ Peeters E., Nelis H., Coenye T. Evaluation of the efficacy of disinfection procedures against *Burkholderia cenocepacia* biofilms. *Journal of Hospital Infection*. 2008. № 70 (4). P. 361–368.

сполук»⁶⁶. Гіпохлорит натрію одержують на місці використання шляхом електролізу розчинів кухонної солі або мінералізованих вод, що містять не менше 20 мг/дм³ хлоридів. У результаті електролізу утворюється кристалогідрат NaClO•5H₂O. Після його введення у воду утворюється хлорнуватиста кислота, яка дисоціює з утворенням гіпохлорит-іонів. Окислювальну дію має як кислота, так і гіпохлорит-іони. Вважається, що знезаражувальна дія цієї сполуки зумовлена утворенням атомарного кисню у результаті розпаду хлорнуватистої кислоти за рівнянням $\text{HClO} \leftrightarrow \text{HCl} + \text{O}^{67}$. Утворення атомарного кисню, який є сильним окислювачем у поєднанні із рештою факторів зумовлює ефективність хлорування. При цьому на знешкодження мікроорганізмів витрачається порівняно незначна кількість препарату. Більша його частина використовується для окиснення органічних та мінеральних сполук.

У світовій практиці водопостачання для цілей знезараження питної води застосовується також діоксид хлору. Як і гіпохлорит натрію його використання змінило підхід до технології очищення води завдяки зниженню кількості побічних продуктів хлорування, у т.ч. тригалогенметанів. Саме це спричинило поширення використання діоксиду хлору для дезінфекції питної води⁶⁸.

Препарати на основі хлору знищують патогенні мікроорганізми, крім спороутворювальних. Вони мають руйнівну дію на клітини бактерій і вірусів. Однак, при хлоруванні води утворюються канцерогенні сполуки. Крім цього, надлишковий вміст хлору і його похідних негативно впливають на функціонування органів шлунково-кишкового тракту, печінки, серцево-судинної системи організму людини.

Таким чином, знезараження бутильованих питних вод хлором і його сполуками є ефективним з економічної точки зору, пролонгованості дії, однак є сумнівним з огляду на негативний вплив на організм людини.

Поширеним способом знезаражування питної води є **озонування**, яке виключає більшість недоліків використання хлорування⁶⁹.

⁶⁶ Кобилянський В. Я. Хлорування води в аспекті стану водо мереж. *Водопостачання. Водовідведення*. 2018. № 5. С. 17–20.

⁶⁷ Pandey P. K., Kass P. H., Soupir M. L., Biswa S., Singh, V. P. Contamination of water resources by pathogenic bacteria. *AMB Express*. 2014. 4 (1). DOI: <http://doi.org/10.1186/s13568-014-0051-x>.

⁶⁸ Кравченко О. В. Сучасні підходи до вибору методів і обладнання для знезараження питної води в централізованих системах водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 5. С. 22–26.

⁶⁹ Кобилянський В. Я. Хлорування води в аспекті стану водо мереж. *Водопостачання. Водовідведення*. 2018. № 5. С. 17–20.

Технології озонування набули широкого застосування у країнах ЄС, Великобританії, США, Канаді, Японії та ін.⁷⁰ Привабливістю використання озону є легкість його розпаду з утворенням атомарного кисню як одного з найбільш сильних окислювачів. Озон унеможливує розвиток бактерій, спор, вірусів, руйнує розчинені у воді органічні сполуки. Його знезаражуюча дія на мікроорганізми в 15...20 разів, а на спорові форми в 300...600 разів більш ефективна за дію хлору. Найвищий віруліцидний ефект озон має за концентрацій 0,5...0,8 мг/дм³ протягом 12 хв. Механізм бактерицидної дії озону полягає у інактивації ферментів, що призводить до загибелі клітин⁷¹.

Експериментально доведено, що при обробці води озоном може бути досягнута її повна стерилізація, що пояснюється високою окислювальною дією озону. Тому із поширенням виробництва БПВ цей спосіб знезараження набув широкого розповсюдження. Встановлено, що в порівнянні з хлором, знезаражувальний ефект якого поступово зростає зі збільшенням дози реагенту, озон діє більш ефективно за менший проміжок часу. На знезараження води при озонуванні температура і рН середовища мають значно менший вплив, ніж при застосуванні інших способів⁷².

З гігієнічної точки зору озонування є одним з найбільш прийнятних способів знезараження питної води і зберігає високі органолептичні показники готової продукції без утворення токсичних і канцерогенних сполук. До переваг використання озону слід віднести й те, що при введенні озону безпосередньо перед розливом, можна досягти знезараження внутрішньої поверхні тари та укрупнювального матеріалу, що є важливим для подовження терміну зберігання готової продукції. Однак при цьому слід вважати на те, що озон у концентрації понад 0,5 мг/дм³ може призвести до пошкодження внутрішньої поверхні тари і втрату її інертності⁷³. Доцільність використання озону обумовлене також його високою окиснювальною здатністю до багатьох органічних сполук, які присутні у природних водах.

До недоліків використання озону можна віднести небезпеку його приготування на місці використання, значні енергетичні витрати,

⁷⁰ Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с..

⁷¹ Мокієнко А. В. Обеззараження води: стратегія і тактика оптимального вирішення. *Водопостачання. Водовідведення*. 2020. № 6. С. 19–24.

⁷² Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с.

⁷³ Репчак Б. Порівняльна характеристика хімічних методів знезараження питної води. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 6. С. 57–58.

складність обладнання, потреба у висококваліфікованих фахівцях та відсутність пролонгованості дії. Використання озону повинне поєднуватись із послідуною обробкою активним вугіллям. Озон є токсичною та вибухонебезпечною сполукою, його гранично допустимі концентрації у повітрі робочої зони становлять 0,05 мг/дм³. Знезараження озonom води, яка містить високі кількості бромy, йоду може призводити до утворення токсичних сполук⁷⁴.

Таким чином, застосування озону у виробництві БПВ доцільно при визначеному складі вихідної води. Для забезпечення біологічної стійкості кінцевого продукту цей спосіб доцільно використовувати разом із засобами, що мають пролонговану дію.

Обробка води іонами срібла як спосіб знезараження питної води вперше запропоновано Л. А. Кульським у 1930 р.^{75, 76}. Обробка електролітичними розчинами іонів срібла переважає за надійністю та простотою у використанні більшість інших способів. Іони срібла забезпечують досягнення високих санітарно-гігієнічних показників питної води протягом тривалого терміну зберігання.

Бактерицидні властивості іонів срібла пояснюються їх здатністю руйнувати плазму мікроорганізмів. Дія срібла на мікроорганізми пояснюється адсорбційною теорією, згідно якої клітини втрачають життєдіяльність внаслідок адсорбції іонів срібла на поверхні клітини та взаємодії електростатичних сил, що виникають між негативно зарядженою протоплазмою клітини та позитивно зарядженими іонами срібла⁷⁷. Антимікробна дія срібла пояснюється також руйнуванням ферментів, що містять групи SH- та COOH- і, відповідно, порушенням нормального обміну речовин мікроорганізмів. Срібло діє на грам-позитивні, грам-негативні бактерії та віруси. Найбільшу активність срібло проявляє до патогенних мікроорганізмів. Так, при концентрації срібла 1,0 мг/дм³ бактерії *Escherichia coli* гинуть за 3 хв.

Ефективність знезараження може зменшуватись за присутності у воді деяких речовин, зокрема хлоридів. Вони спричиняють утворення плівки AgCl на поверхні електродів, що ускладнює

⁷⁴ Шаляпина Т. С. Щодо використання озону для очищення питної води та стоків. *Водопостачання. Водовідведення*. 2018. № 1. С. 47–51.

⁷⁵ Трус І. М., Гомеля М. Д., Мельниченко С. В., Мігранова В. О. Очищення води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флотацією. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1 (15). С. 204–213.

⁷⁶ Репчак Б. Порівняльна характеристика хімічних методів знезараження питної води. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 6. С. 57–58.

⁷⁷ Ibid.

розчинення солей срібла. Негативно впливають також органічні високомолекулярні домішки, які сорбують іони срібла⁷⁸.

Слід враховувати, що збільшення температури в значній мірі посилює бактерицидну дію срібла. При нагріванні від 0 до 100 °С бактерицидна дія срібла посилюється у чотири рази при експозиції 30 хв і в 200 разів за 90 хв. При температурі води 42 °С стерильнізація досягається після 30 хв витримки. Оптимальне значення рН для дії іонів срібла становить 6,4...8,3^{79, 80}.

Кількість іонів срібла в питній воді при тривалості обробки від 30 хв до 2-х годин становлять 0,05...0,5 мг/дм³. Іони срібла у концентрації навіть 0,0025...0,025 мг/дм³ також мають знезаражувальну дію, але за умови подовження тривалості експозиції⁸¹.

Бактерицидні властивості срібла залежать від фізико-хімічних показників середовища. Слід враховувати, що срібло має високий ризик накопичення і у надлишкових кількостях є токсичним. Тому дозування солей срібла в бутильовану питну воду слід здійснювати у контрольованих межах на сертифікованому обладнанні.

Використання препаратів на основі срібла є зручними, але їх ефективність може знижуватись під дією світла внаслідок активізації відновлювальних процесів.

Таким чином, ефективність знезараження питної води сріблом залежить від кількості мікроорганізмів у воді та її фізико-хімічних показників. Срібло здійснює консервуючий ефект, тому даний спосіб знезараження ефективний для забезпечення тривалого зберігання води. Слід вважати, що іони срібла негативно впливають на клітини організму людини. Воно відноситься до важких металів і тому воду,

⁷⁸ Кравченко О. В. Сучасні підходи до вибору методів і обладнання для знезараження питної води в централізованих системах водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 5. С. 22–26.

⁷⁹ Дейниченко Г. В., Гузенко В. В. Сучасні процеси водопідготовки та водочищення. *Харківський державний університет харчування та торгівлі*. 2016. № 34. С. 4–6.

⁸⁰ Трус І. М., Гомеля М. Д., Мельниченко Є. В., Мігранова В. О. Очистка води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флотацією. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1 (15). С. 204–213

⁸¹ Шаляпина Т. С. Щодо використання озону для очищення питної води та стоків. *Водопостачання. Водовідведення*. 2018. № 1. С. 47–51.

що містить його іони не бажано вживати дітям, людям літнього віку та особам зі зниженим імунітетом^{82, 83}.

Із **хімічних неокислювальних способів** особливу увагу слід звернути на препарати, що блокують розвиток мікроорганізмів. Найбільш популярними є препарати на основі гідрохлориду полігексаметиленгуанідину, що є сіллю полігексаметиленгуанідину (ПГМГ) і використовується для досягнення біоцидного ефекту, як антисептичний та дезінфікуючий засіб. Їх дія заснована на блокуванні життєдіяльності клітин мікроорганізмів, зокрема цитоплазматичних мембран та припиненні фізіологічних процесів.

Використання **комбінованих способів** знезараження води у виробництві бутельованих вод є найбільш раціональним підходом у їх технологіях. Використання комбінованих способів знезараження доцільне на всіх технологічних стадіях виробництва БПВ і повинне врахувати склад вихідної води, цільове призначення готової продукції та фінансові спроможності підприємств.

Більшість виробників БПВ використовують комбіновані способи знезараження води у поєднанні із пом'якшенням та знесоленням.

При виборі способу знезараження БПВ слід врахувати присутність у вихідній воді зависі та/або колоїдів, загальний солевміст, жорсткість, вміст органічних домішок, органолептичні показники та рН.

Нижче наведено приклади застосування комбінованих способів знезараження води.

Правильно підібрані способи при комплексній обробці води приводять до синергічних ефектів, коли дія комплексу дезінфектантів перевищує ефекти окремих факторів. Це забезпечує більш високий антимікробний ефект при збереженні або навіть зниженні доз реагентів або режимів обробки. Роботи у цьому напрямку широко ведуться в усьому світі. Сьогодні серед перспективних технологій очищення та знезараження води є окислювальні технології, об'єднані терміном Advanced Oxidation Processes (AOP). Вони охоплюють великий діапазон фізичних і хімічних способів, здатних ефективно видаляти з води домішки. Більшість комбінованих способів передбачають використання УФ-випромінювання. До них відносять використання УФ у поєднанні з хлоруванням, озоном, перекисом

⁸² Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води: навч. Посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с.

⁸³ Кравченко О. В. Сучасні підходи до вибору методів і обладнання для знезараження питної води в централізованих системах водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 5. С. 22–26.

водню, озоном з перекисом водню та ін. За допомогою цих способів досягається висока ефективність знезараження, обумовлена їх синергічним ефектом, тобто взаємопосиленням впливів від кожного окремо. Ступінь посилення може досягати 1000 разів⁸⁴.

Цікавим напрямом є використання УФ-обробки для видалення з неї залишкового хлору, що є відносно новою сферою застосування УФ-технологій. Для руйнування вільного хлору у воді потрібні досить високі дози опромінення, ніж для знезараження. Однак, застосування УФ-опромінення для дехлорування води як заміну обробки її сорбентами має певні переваги, зокрема як одночасне знезараження води, низькі кількості витратних матеріалів та ін.

Обробка хлорованої води ультрафіолетовим опроміненням приводить до зниження концентрації сполук хлору за рахунок фотолізу. Зниження їх вмісту залежить від УФ-спектру та дози опромінення. Процес фотолізу залишкового хлору залежить від типу сполук, які присутні у воді. Залишковий хлор у воді може знаходитися у вигляді гіпохлорит-іонів, хлорноватистої кислоти, моно-, ди-, три- хлорамінів, хлорорганічних сполук. Їх співвідношення залежить від типу хлорреагента, рН води і концентрації азотвмісних сполук. Кожен з цих типів сполук хлору має свій пік поглинання УФ-випромінювання. Оптимальне поглинання енергії для сполук хлору становить: монохлораміну – 245 нм; дихлораміну – 297 нм; трихлораміну – 340 нм; хлороформу і тригалометану – 400 нм⁸⁵. Обробка хлорованої води високими дозами УФ-опромінення може призводити до зниження вмісту вільного хлору на 10...45 %, зв'язаного хлору – до 10...15 %, побічних продуктів хлорування – до 10...20 %. Типовими продуктами фотолізу є іони Cl^- , H^+ , NO^-3 , NH_4^- . В результаті фотолізу сполук хлору не встановлено утворення побічних токсичних продуктів. Лампи середнього тиску, що мають широкий спектр випромінювання, обумовлюють більш виражене зниження вмісту остаточного хлору, ніж лампи низького тиску. Для фотолізу використовуються дози опромінення в кілька разів більші тих, які застосовуються для знезараження води, тому в діапазоні доз 25...40 мДж/см² вплив фотолізу на зниження концентрацій хлорвмісних речовин є незначним⁸⁶.

⁸⁴ Петренко Н. Ф., Мокієнко А. В. Комбіновані методи очистки і знезараження води. *Вода і водоочисні технології*. 2010. № 1–2 (43–44). С. 37–47.

⁸⁵ Ibid.

⁸⁶ Blume T. Improving chlorine disinfection of wastewater by ultrasound application. *Water Sci. Technol.* 2005. Vol. 52, № 10–11. P. 139–144.

Можливим є комбіноване опромінення УФ та НВЧ-хвилями. Встановлено, що бактерії в слабких електролітах гинуть при частоті електромагнітного поля частотою від 10 до 60 МГц. Висунуто припущення, що летальний вплив НВЧ-енергії на мікроорганізми слід віднести до теплового фактору. Установлено, що оброблення при низьких температурах не приводить до значної інактивації мікроорганізмів. Відомо, що тривалість оброблення залежить від потужності НВЧ-поля. На практиці ефективність НВЧ-оброблення визначається не тільки супутнім нагріванням, але і загальною тривалістю обробки без суттєвого підвищення температури. Тому слід відмітити перспективність застосування НВЧ, але значна вартість та складність обладнання, необхідність створення рівномірності поля, а також підвищені вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу обмежують застосування способу НВЧ-обробки у знезараженні води.

УФ-опромінення часто поєднують з озонуванням. При УФ-опроміненні молекули розчиненого у воді озону призводить до його часткового розкладання з утворенням атомарного кисню⁸⁷. Їх реакційна здатність (окиснення) у багато разів вища, ніж дія озону. Коефіцієнт екстинкції озону при довжині хвилі 254 нм становить $3300 \text{ дм}^3/(\text{моль} \cdot \text{см})$, що набагато вище, ніж перекису водню ($18,6 \text{ дм}^3/(\text{моль} \cdot \text{см})$). Швидкість розпаду озону приблизно в 1000 разів вища, ніж перекису водню. Поглинання УФ-променів призводить до фотолізу озону з утворенням високоактивного радикала синглетного кисню, потім до утворення перекису водню і його фотодисоціації на радикали. Ці радикали ефективно знезаражують, але насамперед витрачаються на окиснення органічних і неорганічних домішок води. В даний час доведено, що існує три шляхи комбінованої дії УФ та озону, що призводять до генерації гідроксильних радикалів через утворення збуджених атомів кисню, перекису водню і пергідроксильних іонів. Насправді існує набагато більше шляхів генерації вільних радикалів, але складність хімічного процесу не дозволяє детально вивчити всі хімічні реакції, їх кінетику і процес утворення продуктів реакцій. Озонування води вирішує завдання фізикохімічного очищення, дозволяє знизити витрати реагентів, забезпечує первинний бар'єр від мікробного забруднення. Озонування води перед УФ-обробленням багато років застосовується на двох станціях водоготування Фінляндії (Pitkakoski і Vanhakaupunki), що постачають питну воду м. Гельсінкі, на канадській станції Coquitlam.

⁸⁷ Петренко Н. Ф., Мокієнко А. В. Комбіновані методи очистки і знезараження води. *Вода і водоочисні технології*. 2010. № 1–2 (43–44). С. 37–47.

Ефективним є взаємопоєднання антимікробної дії при використанні УФ-опромінення з іонами деяких металів, зокрема міді і срібла у концентраціях, що не перевищують їх ГДК у питній воді. Встановлено залежність величини синергічного ефекту від дози випромінювання, тривалості контакту з металами і порядку їхнього введення у воду (перед або після опромінення). Цей спосіб може бути використаний для забезпечення тривалого зберігання обробленої води.

При введенні окислювачів утворюються радикали і створюється високий окисно-відновний потенціал, який можна підвищити при використанні катіонів деяких металів як каталізаторів. Найбільш виражений антимікробний ефект отримано при спільному введенні до води перекису водню та іонів срібла, міді та цинку. Визначена залежність величини синергічного ефекту, що виникає при цьому залежно від співвідношень їхніх концентрацій у суміші та тривалості контакту. Визначено умови, при яких досягається найбільший синергічний ефект. Установлено, що ефект підвищується із збільшенням концентрації перекису водню, а при його постійній концентрації – із збільшенням концентрації металів. Для концентрації перекису водню 100 мг/дм³ ефективність використання металів зменшується у послідовності Ag < Си < Zn.

Як і для інших комбінованих способів, посилення летального ефекту хімічних реагентів можливо із використанням ультразвуку або інших іонізуючих випромінювань. Так, ультразвукова обробка спор *Cl. Sporogenes*, *Bac. subtilis*, *Candida albicans* була летальною для організмів у 6 % -ному розчині перекису водню відповідно після 5, 10 і 15 хв. контакту. Останні два мікроорганізми не гинули навіть після 30-хв експозиції з жодним агентом при їх окремому використанні. Для першого мікроорганізму експозиція складала 25 хв. При використанні монохлораміну та йоду для знезараження води встановлено, що швидкість загибелі *E.coli* і *S. faecalis* при їх спільному використанні значно вище, ніж під дією тільки монохлораміну⁸⁸. Вивчено ефективність комбінованої дії засобів знезараження стосовно пріоритетних контамінантів з вираженою резистентністю. Досліджено такі патогени: інкапсульовані криптоспоридії і лямблії, спори *B. cereus* (потенційний індикатор дезінфекції). Досліджувались різні комбінації реагентів: вільний хлор і монохлорамін; озон і вільний хлор; монохлораміни; діоксид хлору; діоксид хлору і вільний хлор або

⁸⁸ Петренко Н. Ф., Мокієнко А. В. Комбіновані методи очистки і знезараження води. *Вода і водоочисні технології*. 2010. № 1–2 (43–44). С. 37–47.

монохлораміни⁸⁹. Показано, що видалення цист *Giardia muris* та *C. parvum* малоефективне при використанні вищезгаданих комбінацій дезінфектантів, однак аеробні спори *V. segetis* інактивуються. Озон ефективно впливав на цисти. Використання діоксиду хлору як вторинного дезінфектанту після обробки озоном найбільш ефективно на інактивацію *Cryptosporidium*. Ефективність комбінації озону і вільного хлору та озону з монохлорамінами була однаковою⁹⁰.

Таким чином, основною перевагою комбінування способів знезараження води є синергізм їхньої дії, що обумовлено різними потенціуючими ефектами.

Отже, використання комбінованих способів знезараження води дозволяє забезпечити мікробіологічну чистоту готової продукції та залежить від складу та стану вихідної води.

ВИСНОВКИ

1. Знезараження питної води є необхідною умовою забезпечення споживачів якісною бутильованою питною водою із тривалим терміном зберігання та споживання.

2. Фізичні способи знезараження води забезпечують збереження фізіологічних властивостей, мають ефективну знезаражувальну дію, але не забезпечують знепліднювальну прологнованість.

3. Використання хімічних окиснювальних способів забезпечує покращення мікробіологічних показників води, однак може спричиняти утворення побічних речовин та негативно впливати на органолептичні показники готової продукції.

4. Використання олігодинамічних способів, зокрема іонів срібла, забезпечує консервуючий ефект, однак зумовлює високий ризик накопичення іонів важких металів в організмі людини, які у надлишкових кількостях є токсичними. Ці способи потребують жорсткого контролю на всіх технологічних стадіях.

5. Використання неокиснювальних хімічних способів завдяки специфічності дії реагентів забезпечує тривале зберігання готової продукції за дотримання визначених умов використання препаратів, однак мало досліджені у технологіях бутильованих питних вод.

6. Комбіновані способи знезараження води є перспективними і передбачають поєднання фізичних та хімічних способів. Їх застосування повинне базуватись на врахуванні складу вихідної води та потребах споживачів.

⁸⁹ Остапенко В. В. Удосконалення технології бутильованих питних вод : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.05. Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2008. 234 с..

⁹⁰ Ibid.

АНОТАЦІЯ

Стаття містить аналітичний огляд існуючих способів знезараження води у технологіях бутильованих питних вод. Наведено характеристику фізичних, хімічних та комбінованих способів оброблення.

Описано способи знезараження питної води. Зазначено, що фізичні способи оброблення питної води передбачають переважно використання ультрафіолетових променів, що мають бактерицидний ефект, але не забезпечує пролонгованість. Наведено інформацію щодо використання інших фізичних способів водоготування.

Серед хімічних способів оброблення питної води окреслено реагентні, зокрема із використанням озону та іонів срібла. Наведено інформацію щодо ефективності використання іонів срібла, як чинника пролонгованої мікробіологічної чистоти готової продукції.

Знезараження води у виробництві БПВ свідчить про необхідність комплексного підходу до вирішення проблем забезпечення біологічної чистоти підготовленої води та готового продукту протягом тривалого зберігання. У технологіях бутильованих вод такий підхід передбачає підбір способів водоготування залежно від складу та стану вихідної сировини.

Стаття містить огляд існуючих способів знезараження питної води та рекомендації щодо знезараження з урахуванням різних збудників забруднення та факторів безпеки. Охарактеризовано ефективні шляхи знезараження питної води із урахуванням фізичних, хімічних та комбінованих способів оброблення з огляду на дію різних факторів.

Література

1. Про питну воду та питне водопостачання: Закон України від 10 січня 2002 р. № 2918–III / *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text> (дата звернення: 26.04.2023).
2. Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення: Закон України від 24 квітня 1994 р. № 4004–12 / *Верховна Рада України*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text> (дата звернення: 20.04.2023).
3. Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems. Available at: URL: <https://www3.epa.gov/npdes/pubs/primer.pdf> (дата звернення 15.03.2023).
4. Осадчий В. І. Ресурси та якість поверхневих вод України в умовах антропогенного навантаження та кліматичних змін. *Вісник Національної академії наук України*. 2017. № 8. С. 29–46.
5. Прибельський В. Л., Остапенко В. В. Яку воду можна пити? *Харчова і переробна промисловість*. 2004. № 3. С. 4–5.

6. Хвесика М. А. Водні ресурси на рубежі ХХІ ст. проблеми раціонального використання, охорони та відтворення. Київ: РВПС України НАН України, 2005. 460 с.
7. Світа В. В. Вода як фактор передачі збудників інфекційних захворювань. *Профілактична медицина СЕС*. 2007. № 1. С. 72–74.
8. Директива Європейського Союзу про якість води, призначеної для споживання людиною, 2020/2184 від 16 грудня 2020 р. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MU98318> (дата звернення 21.04.2023).
9. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. URL: <https://www.who.int/publications/item/9789240045064> (дата звернення 1.05.2023).
10. Rosario-Ortiz F., Rose J., Speight V., Gunten U. V., Schnoor J. How do you like your tap water? *Science*. 2016, № 351 (6276), P. 912–914. DOI: <http://doi.org/10.1126/science.aaf0953>
11. Bordiuh N. S., Rashchenko A. V., Alpatova O. M. *Monitorynh dovkillia*. Kyiv, 2019. 168 p.
12. Остапенко В. В. Удосконалення технології бутильованих питних вод: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.05 / Нац. ун-т харч. технол. Київ, 2008. 234 с.
13. Литвиненко Т. Фасована питна вода: вимоги до складу, зберігання та маркування. *Управління якістю*. 2019. № 5 (17). С. 63–65.
14. Schillinger J, Özerol G, Güven-Griemert S, Heldeweg M. Waterinwar: Understanding the impacts of armed conflict on water resources and their management. *WIREs Water*. 2020. URL: <https://doi.org/10.1002/wat2.1480>
15. Міндовкілля оцінює екологічні збитки від війни у 200 млрд грн. URL: <https://ua-energy.org/uk/posts/dovkillia-ukrainy-duzhe-poterpaie-vid-viiny> (дата звернення 10.04.2023).
16. Глобальна щорічна оцінка стану санітарії та водопостачання в рамках Механізму ООН по водних ресурсах: Цільове використання ресурсів для досягнення прогресу. Вода, санітарія, гігієна *Офіційний сайт Всесвітньої організації охорони здоров'я*. URL: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/9789241599351/ru/ind ex.html (дата звернення 22.03.2023).
17. Держвані санітарні правила і норми СанПіН 2.2.4-171-10 Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (затверджено наказом МОЗ України 12.05.2010 № 400, зареєстровано Міністерством України 01.07.2010. № 452/17747).

18. ДСТУ 7525:2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. [Текст]. Чин. 2014-23-10. Київ : Держспоживстандарт, 2014. 28 с.

19. Запольський А. Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ: Вища школа, 2005. 671с.

20. Bordiuh N. S., Patyka V. P. Otsinka stanu yakosti pytnoi vody detsentralizovanoho vodopostachannia za epidemiolohichnym pokaznykom. *Naukovi dopovidi NUBiP*. 2010. № 1 (17). URL: <http://nd.nubip.edu.ua/2010-1/10bnsqei.pdf> (дата звернення: 02.05.2023).

21. Bordiug N. S.. The analysis of sanitary quality of outplant drinking water. *Technology Audit and Production Reserves*. 2013 № 5 (4 (13)), P. 49–51. DOI: <http://doi.org/10.15587/2312-8372.2013.18281> (дата звернення: 15.04.2023).

22. Price, R. G., Wildeboer, D. E. coli as an Indicator of Contamination and Health Risk in Environmental Waters. *Escherichia Coli – Recent Advances on Physiology, Pathogenesis and Biotechnological Applications*. (2017). DOI: <http://doi.org/10.5772/67330> (дата звернення: 20.03.2023).

23. Бордюг Н., Рашенко А., Фещенко О., Сарган П. Мікробіологічна оцінка якості питної води на різних етапах водопідготовки. *Технологічний аудит і резерви виробництва*. 2020 № 2 (3(52), 4–8. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.200023>(дата звернення: 24.03.2023).

24. Денис О. Вода для сталого зростання. *Вода і водоочисні технології*. 2016. № 1–2 (79–80). С. 46–49.

25. Стратегічні напрямки розвитку водопостачання в Україні: *Водопостачання. Водовідведення*. 2020. № 3. С. 11–15

26. Мокієнко А. В., Ковальчук Л. Й., Крісілов А. Д. Якість води поверхневих водойм як фактор ризику для здоров'я населення. *Вісник Національної академії наук України*. 2017. № 10. С. 42–52.

27. Дриккер Е. Карта якості води України – Центральний регіон. *Вода і водоочисні технології*. 2019. № 3 (93). С. 34–38.

28. Стрікаленко Т. В. Вода – харчовий продукт. *Водопостачання. Водовідведення*. 2017. № 1. С. 16–19.

29. Артгерц Р. Вода. Стандарти ISO і протокол з проблем води і здоров'я. *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2010. № 1 (62). С. 17–18.

30. Полищук А. А. Про створення і виконання норм якості води. *Водопостачання. Водовідведення*. 2018. № 4. С. 17–21.

31. Цветкова Г., Захарченко Н. Протокол про воду і здоров'я як інструмент національної водної безпеки. *Екологія підприємства*. 2020. № 2 (91). С. 14–19.

32. Почекайлова Л. П. Міжнародні, європейські та національні стандарти щодо послуг водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2019. № 1. С. 44–49.
33. Кравченко В. А., Кравченко О. В., Панченко О. С. Аналітичний огляд методів знезараження пиної води в системах водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2017. № 3. С. 19–29.
34. Астрелін І., Герасимов Є., Гіроль М. Фізико-хімічні методи очищення води. Керування водними ресурсами: підручник. Київ : Вольф, 2015. 577 с.
35. Clancy J. L., Bukhari Z., Hargy T. M., Bolton J. R., Dussert B. W., Marshall M. M. Using UV to inactivate *Cryptosporidium*. *Journal – American Water Works Association*. (2000). № 92(9), P. 97–104.
36. Сусь М. Ультрафіолетові технології – панацея в обеззараженні води. *Вода і водоочисні технології*. 2014. № 2 (72). С. 4–15.
37. Светлейша О. М. Оптимізація процесу очищення природної води методом ультрафільтрації : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.21. Національний технічний університет України «КПІ». Київ, 2014. 21 с.
38. Поляков, Д. В. Нанотехнології в водо підготовці. *Вода і водоочисні технології*. 2009. № 4–5 (34–35). С. 70–72.
39. Орлов В. О., Орлова А. М., Зошук В. О. Технологія підготовки питної води : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2010. 176 с.
40. Мальований М. С., Старчевский В. Л., Вронська Н. Ю. Комплексна адсорбційно-ультрозвукова технологія водоочищення. *Хімічна промисловість України*. 2012. № 6 (113). С. 49–52.
41. Долінський А. А., Ободович О. М., Сидоренко В. В., Гусятинська Н. А. Реалії сьогодення та перспективи майбутнього підготовки питної і технологічної води. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Т. 24, № 2. С. 247–255.
42. Дейниченко Г. В., Гузенко В. В. Сучасні процеси водопідготовки та водоочищення. *Харківський державний університет харчування та торгівлі*. 2016. № 34. С. 4–6.
43. Буртна І. А., Литвиненко Д. В. Огляд мембранних технологій очистки води у водопостачанні та водо підготовці. *СхідноЄвропейський журнал передових технологій*. 2012. № 3 С. 22–33.
44. Гулієнко С. В. Забруднення мембран та методи їх регенерації: критичний огляд. *Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»*. 2018. № 5. С. 43–48.
45. Trus I. M., Gomelya M. D., Makarenko I. M., Khomenlo A. S., Trokhymenko G. G. The Study of the particular aspects of water purification from heavy metal ions using the method of nanofiltration.

Naukovyi Visnyk Natsionalnogo Hirnychogo Universytetu. 2020. № 4. P. 117–123.

46. Гомеля М. Д., Трус І. М., Радовенчик В. М. Оцінка ефективності зворотньоосмотичного опріснення води після її пом'якшення на слабокислотному катіоніті. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2014. № 3. С. 32–36.

47. Трус І. М., Гомеля М. Д., Мельниченко Є. В., Мігранова В. О. Очистка води від іонів важких металів відстоюванням, нанофільтруванням та флотацією. *Технічні науки та технології*. 2019. № 1(15). С. 204–213

48. Міщанчук В. М., Гуменюк М. Б. Гігієнічна оцінка методів знезараження питної води централізованих систем водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 5. С. 16–21.

49. Shrivastava R., Upreti R. K., Jain S. R., Prasad K. N., Seth P. K., Chaturvedi U. C. Suboptimal chlorine treatment of drinking water leads to selection of multidrugresistant *Pseudomonas aeruginosa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2004. № 58 (2). 277–283.

50. Ratnayaka, D. D., Brandt, M. J., Johnson, K. M. Chemistry, Microbiology and Biology of Water. *Water Supply*. (2009). № 6. P 195–266.

51. Gerba C., Kennedy D. Enteric Virus Survival during Household Laundering and Impact of Disinfection with Sodium Hypochlorite. *Applied and Environmental Microbiology*. 2007. № 73 (14). P.4425–4428.

52. Peeters E., Nelis H., Coenye T. Evaluation of the efficacy of disinfection procedures against *Burkholderia cenocepacia* biofilms. *Journal of Hospital Infection*. 2008. № 70 (4). P. 361–368.

53. Кобилянський В. Я. Хлорування води в аспекті стану водомереж. *Водопостачання. Водовідведення*. 2018. № 5. С. 17–20.

54. Pandey P. K., Kass P. H., Soupir M. L., Biswa S., Singh, V. P. Contamination of water resources by pathogenic bacteria. *AMB Express*. 2014. 4 (1). DOI: <http://doi.org/10.1186/s13568-014-0051-x>

55. Кравченко О. В. Сучасні підходи до вибору методів і обладнання для знезараження питної води в централізованих системах водопостачання. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 5. С. 22–26.

56. Мокієнко А. В. Обеззараження води: стратегія і тактика оптимального вирішення. *Водопостачання. Водовідведення*. 2020. № 6. С. 19–24.

57. Репчак Б. Порівняльна характеристика хімічних методів знезараження питної води. *Водопостачання. Водовідведення*. 2014. № 6. С. 57–58.

58. Шаляпина Т. С. Щодо використання озону для очищення питної води та стоків. Водопостачання. Водовідведення. 2018. № 1. С. 47–51.

59. Петренко Н. Ф., Мокієнко А. В. Комбіновані методи очистки і знезараження води. Вода і водоочисні технології. 2010. № 1–2 (43–44). С. 37–47.

60. Blume T. Improving chlorine disinfection of wastewater by ultrasound application. Water Sci. Technol. 2005. Vol. 52, № 10–11. P. 139–144.

Information about the authors:

Prybyl'skyi Vitalii Leonidovych,

Doctor of Technical Sciences,

Professor at the Department

of Biotechnology of Fermentation Products and Winemaking

National University of Food Technology

68, Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine

Dulka Olha Stepanivna,

Candidate of Technical Sciences,

Assistant at the Department of Hotel and Restaurant Affairs

National University of Food Technology

68, Volodymyrska str., Kyiv, 01601, Ukraine

Fedosov Oleksii Leonidovych,

“Rosiana” LLC

11, Metrolohichna str., Kyiv, 03143, Ukraine