

## СУЧАСНІ МЕТОДИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ СТІЧНИХ ВОД (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Іванько О.М., Бідненко Л.І.

Українська військово-медична академія

**Резюме.** В роботі представлений аналітичний огляд сучасних методів знезараження стічних вод, які використовуються в Україні.

Наведені приклади найбільш відомих методів знезараження господарчо-побутових і промислових стічних вод, таких як хлорування, озонування, використання УФ-випромінювання, висвітлені їх переваги та недоліки.

**Ключові слова:** стічні води, хлорування, озонування, УФ-випромінювання.

**Вступ.** Проблема охорони джерел централізованого господарсько-питного водопостачання від забруднення, зокрема поверхневих водойм та підземних джерел, є найбільш серйозною проблемою, оскільки потреба населення в достатній кількості води високої якості завжди залишається життєво необхідною. У воді поверхневих водойм разом з домішками природного походження містяться і різного складу хімічні забруднення (пестициди, феноли, нафтопродукти, солі важких металів тощо), що обумовлено надходженням у водоймища недостатньо очищених виробничих і побутових стічних вод. Технології та обладнання, які застосовуються в даний час для обробки стічних вод, не завжди забезпечують необхідну ступінь її очищення та знезараження.

У водоймища України щорічно скидається більше 2,6 млрд м<sup>3</sup> забруднених стічних вод, які вміщують біля 8 млрд т різних забруднювачів. У воді в небезпечних концентраціях можуть міститися радіонукліди, нафтопродукти, феноли, поверхнево-активні речовини, солі важких металів, у паводковий період у воду потрапляють значні кількості пестицидів та мінеральних добрив [1]. Все це призвело до того, що сьогодні в Україні практично відсутні поверхневі джерела водопостачання, які можна було б віднести до першої категорії як придатні для водопостачання з урахуванням можливостей водоочисних споруд. До 1-3 категорій (практично чисті) відносяться лише 15% водних об'єктів, до категорій 4-5 (забруднені) – 60%, до категорій 6-7 (брудні і дуже брудні) – 25% [2].

**Мета роботи** – вивчення існуючих методів знезараження стічних вод та оцінка їх санітарно-гігієнічної ефективності.

**Матеріали та методи.** Об'єкт досліджень – якість стічних вод. Матеріалами дослідження слугували дані наукової літератури. Методи дослідження: бібліографічний, нормативно-пошуковий, аналітичний.

**Результати дослідження та їх обговорення.** За своїм хімічним складом забруднення господарсько-побутових стічних вод діляться на мінеральні і органічні. Орієнтовна шкала забруднень приведена у табл. 1.

Як видно з таблиці, основна кількість забруднення, а саме нерозчиненої та колоїдної фракції являє собою органічні речовини нестабільні у навколишньому середовищі, що погіршує санітарно-гігієнічні умови населених місць і

потребують особливої технології переробки на очистних спорудах. Відміної рисою побутових стічних вод є їх висока бактеріальна забрудненість.

Таблиця 1

**Характеристика забруднень побутових стічних вод за хімічним складом, %**

Найменування забруднення	Всього	З них	
		мінеральних	органічних
Нерозчинені	40	10	30
Колоїдні	10	2	8
Розчинені	50	30	20
Всього	100	42	58

Методи, які застосовуються для знезараження стічних вод (СВ), умовно можна розділити на такі групи:

- хімічні (застосування різних сполук хлору, озону, перекису водню і ін);
- фізичні (термічні, електричні, електромагнітні);
- фізико-хімічні (флотація, коагуляція, електрофільтрування, сорбція);
- знезараження в умовах штучних і природних біоценозів.

В Україні найбільшого поширення одержав метод оброблення стічних вод хлором, але європейські країни все частіше відмовляються від нього, надаючи перевагу обробленню ультрафіолетом, ультразвуком та комбінованим методам. Сьогодні практично повністю відмовилися від застосування хлору в Німеччині, Великобританії та США [3].

Хлорвміщуючі реагенти мають низку істотних недоліків [4]. Взаємодія хлору з органічними речовинами, що містяться в стічних водах, призводить до утворення хлороформу (клас небезпеки 2 Б), чотирихлористого вуглецю (клас небезпеки 2 Б), бромдихлорметану (клас небезпеки 2 Б), дибромхлорметану (клас небезпеки 3), бенз(а)пірену, які мають мутагенні та канцерогенні властивості. Дані вітчизняної наукової літератури свідчать, що гігієнічних критеріїв ефективності процесу (дози активного хлору 3-5 мг/дм<sup>3</sup>, експозиція 30 хвилин і залишковий активний хлор 1,5 мг/дм<sup>3</sup>), регламентованих СНіП 2.03.04-85 [5], в деяких випадках недостатньо для надійного знезараження стічних вод від кишкових бактерій і вірусів. Використання з цією метою підвищених доз активного хлору є не бажаним. Крім того, цей метод пов'язаний з необхідністю дотримання правил безпеки при збереженні, транспортуванні і застосуванні хлору. Вимушене підвищення доз хлорвміщуючих реагентів (під час паводків) призводить до пригнічення процесів самоочищення води у водних об'єктах.

Дослідженнями, які були проведені ще в ХХ-столітті, встановлено, що повністю видалити зі стічних вод бактеріальну та вірусну мікрофлору можливо лише дозою активного хлору 15-20 мг/дм<sup>3</sup> і експозицією не менше 2 годин [6, 7]. Двогодинна експозиція дозою акивного хлору 3-5 мг/дм<sup>3</sup> дозволила знезаразити стічні води від бактерій групи кишкової палички на 99,99%. Повного звільнення стічних вод від бактерій було досягнуто при їх знезаражуванні протягом 24 годин. Виявлено також більшу резистентність до хлору у кишкової палички в порівнянні з *Salmonella typhi murgium*. Встановлено, що максимальну віруліцидну активність проявляють газоподібний хлор, хлорне вапно та натрієва сіль дихлорізоціанурової кислоти, найменшу - хлорамін. Застосування активного хлору для знезаражування

стічних вод в таких значних концентраціях сприятиме його надходженню у водойми, де він вступатиме в реакції окислення з гуміновими речовинами та органічними сполуками антропогенного походження, утворюючи хлорорганічні сполуки, небезпечні для здоров'я населення.

В експериментах зі знезараженням від поліовірусів доочищених стічних вод хлором, діоксидом хлору та озоном, показано вищу активність діоксиду хлору в порівнянні з хлором.

Зокрема, якщо при хлоруванні повна інактивація вірусів спостерігалася в дозах  $10 \text{ мг/дм}^3$  за 60 хв, то при знезараженні діоксидом хлору такий самий ефект спостерігався в дозі  $5 \text{ мг/дм}^3$  із часом контакту 2-30 хв, а залишкові кількості його після 30-40 хв визначалися на рівні  $0,8-6,3 \text{ мг/дм}^3$ .

За результатами досліджень [8] встановлено, що хлорування стічної води дозами 2,4-4,8 мг/л (при концентрації залишкового хлору 1,2-2,4 мг/л) не забезпечує ефективного знезараження стічних вод по відношенню до коліфагів. Максимальна ефективність інактивації цист патогенних простіших складала 80% при дозі хлору 4,8 г/л, при цій же дозі спостерігалось максимальне збільшення ступеня токсичності до 1 бала (висока ступінь токсичності).

Дослідженнями Гончарука Є.Г., Прокопова В.О. [9] встановлено, що для знезаражування стічних вод інфекційних лікарень для досягнення необхідного ефекту доза активного хлору після 30-хвилинного контакту повинна бути підвищеною до  $5-10 \text{ мг/дм}^3$ . Повністю звільнити стічні води від патогенних ентеробактерій та вірусів за таких умов знезаражування неможливо.

Значна частина суден пасажирського, транспортного та промислового флоту оснащена установками очищення стічних вод зарубіжних фірм з різним принципом дії. В дослідженнях авторів по ефективності знезараження баластних вод морських суден, показано, що діоксид хлору в дозі  $1 \text{ мг/дм}^3$  забезпечував ефективне знезараження: значення індексу БГКП знижувалося від 1000-8000 до  $<3 \text{ КУЕ/дм}^3$ ; патогенна мікрофлора не виявлялася в пробах баластних вод після знезараження (при максимально зареєстрованих рівнях вихідної контамінації стафілококами  $> 240 \text{ КУО/100 см}^3$ , ентерококами  $> 520 \text{ КОЕ/100 см}^3$ , дріжджовими грибами  $> 50 \text{ КУЕ/см}^3$ ). Хлорити, як побічні продукти дезінфекції діоксидом хлору, в знезараженій морській воді були відсутні. Таким чином, діоксид хлору можна розглядати як екологічно безпечний засіб знезаражування суднових баластних вод суден [10, 11].

Згідно з даними Петренко Н.Ф, Моєнко А.В. [12], доза діоксиду хлору  $2 \text{ мг/дм}^3$  є практично достатньою для забезпечення нормативу скидання стічних вод ( $1000 \text{ КУЕ/дм}^3$ ) в морську воду, при цьому досягається 99,92% інактивація для ЛКП і 99,99% - для ентерококів. В цьому випадку залишковий дезінфектант у знезараженій стічній воді був відсутній, а вміст хлоритів складав  $0,8 \pm 0,04 \text{ мг/дм}^3$  при експозиції 1 година і  $0,67 \pm 0,07 \text{ мг/дм}^3$  при експозиції 2 години, т.е. перевищувало існуючий норматив для цієї сполуки у воді водних об'єктів. Тому була проведена гігієнічна оцінка впливу хлоритів на гідробіоти. Дослідження показало, що для виключення токсичної дії хлоритів у водних екосистемах з розвитком довго-циклічних бентосних водоростей – макролітів, концентрація хлоритів у знезаражених діоксидом хлору побутових стічних водах не повинна перевищувати  $1 \text{ мг/дм}^3$ .

Переваги діоксиду хлору в якості дезінфектанта у порівнянні з хлором наведено у таблиці 2:

- окислювальна здатність діоксиду хлору єт вищою ніж у хлора;
- біоцидна дія діоксиду хлору вища, ніж у хлора при однакових дозах реагентів і експозиції дезінфекції;
- властивості діоксиду хлору не залежать від рН води;
- діоксид хлору при взаємодії з аміаком і амінами не утворює хлораміни та побічні токсичні продукти хлорування (тригалометани);
- органічні продукти окислення біохімічно окислюються та не створюють небезпеки при попаданні у природні водойми в порівнянні з тригалометанами, які не окислюються і накопичуються в об'єктах навколишнього середовища;
- побічні продукти (хлорати і хлорити) не є небезпечними для навколишнього середовища, тому що хлорити швидко відновлюються до хлоридів, а хлорати стабільні у водному середовищі.

Таблиця 2

**Порівняльна характеристика властивостей окислювачів та їх побічні продукти**

Окислювачі	E <sub>0</sub> , Вт	Дія			«СхТ» для інактивації цистлямблій	Вплив рН в діапазоні 6-9	Побічні продукти, ГДК у воді (мг/дм <sup>3</sup> )
		бактерицидна	вірулицидна	бактеріостатична			
Хлор, Cl <sub>2</sub>	1,36	+	+	+	47-150	+++	ТГМ-0,1 Хлороформ -0,06 Дибромхлорметан-0,01 Тетрахлорвуглець-0,002 Хлорфеноли-0,0003
Діоксид хлору ClO <sub>2</sub>	1,51	++	++	+++	26	0	Кислотовміщуючі органічні сполуки Хлорити-0,2 Хлорати-20
Озон O <sub>3</sub>	2,07	+++	+++	0	0,5-0,6	0	Кислотовміщуючі органічні сполуки Бромати- 0,025

Примітка: 0 – відсутність впливу, «+» - мінімальна дія, «++» - середня дія, «+++» - максимальна дія.

Автори статті [13] пропонують використовувати знезараження діоксидом хлору побутових стічних вод для невеликих населених пунктів, локальних об'єктів, у тому числі об'єктів транспорту, а також стічних вод, що являють собою епідеміологічну небезпеку (наприклад, у інфекційних лікарнях).

В роботі [14] дана гігієнічна оцінка ефективності очищення та знезаражування стічних вод на станціях типу «ЛК» (Польща), «Супер Трейден» (Великобританія), «Атлас» (Данія), «КА5MR» (Німеччина), «МТТ52» (США), обладнаних на морських судах. Результати цих досліджень в процесі комплексного вивчення очищених стічних вод показали, що для об'єктивної санітарно-гігієнічної оцінки ефективності роботи суднових станцій прийнятий в даний час регламентуючий мінімум бактеріологічних і хімічних критеріїв

недостатній. В зразках стічних вод, що скидалися за борт, переважали віруси ЕСНО (56,2%) і Коксаки (28,2%). Вірусовмісні зразки стічних вод бактеріологічно і хімічно вивчалися. За індексом БГКП, зваженим речовинам і БПК<sub>5</sub> вивчені зразки стоків виявилися недостатньо очищеними і знезараженими. Останнє свідчить про порушення бар'єрної функції обстежених суднових станцій.

Так як під час хлорування стічних вод можливе утворення токсичних хлорорганічних сполук, шкідливих для організму людини, було запропоновано знезаражувати міські стічні води іншими методами, зокрема шляхом ультрафіолетового опромінення, озонуванням, обробкою діоксидом хлору, перманганатом калію та ін.

Крім сполук хлору, в практиці знешкодження стічних вод можуть бути використані сполуки бромю і йоду, що володіють окислювальною активністю. Незважаючи на велику кількість літератури, є суперечливі відомості про бактерицидну активність даних галогенів. Хімічна дія хлориду бромю у воді схожа з дією хлору. ВгСІ швидко реагує з водою, утворюючи гіпобромову кислоту, яка швидко з'єднується з аміаком, утворюючи при цьому бромаміни. Вони перевершують хлораміни в бактерицидній і противірусній активності. Препарати бромю знаходять своє застосування для знезараження води плавальних басейнів, а йод в якості самостійного засобу використовується для знезараження води в замкнених системах, зокрема, в системі життєзабезпечення космічних станцій. Незважаючи на перспективність використання сполук бромю і йоду для дезінфекції стічних вод, вони не знайшли широкого застосування через високу вартість та можливість утворення йод-і бромпохідних, які мають токсичну дію і характеризуються віддаленими ефектами.

Не менш перспективним методом знезараження є озонування. Джерелом отримання озону є повітря або кисень, що не потребує реагентного господарства. Озон легко розпадається з утворенням атомарного кисню, який знищує бактерії, спори, віруси, окислює органічні речовини, поліпшує органолептичні властивості води. Застосування озону виключає трудомісткі процеси і значно спрощує технологію очищення стічних вод.

Озон набагато сильніший окислювач, ніж хлор. Знезаражуюча дія озону на вегетативні форми бактерій у 15-20 разів, на спорові форми бактерій у 300 - 600 разів сильніша за дію хлору. Надлишок озону на відміну від хлору не денатурує воду. Крім того, озон має противірусну дію. Мінеральний склад, лужність, рН води залишаються без змін. При озонуванні можливий аналітичний контроль за ефективністю знезаражування [15].

Озонування є ефективним і перспективним методом очищення стічних вод також від домішок ароматичних сполук, СПАР і може бути рекомендований як локальний метод очищення перед остаточним біохімічним доочищенням на біологічно очисних станціях. [16, 17].

Авторами запропонована модульна установка, в процесі вивчення якої відпрацьовані різні технологічні схеми водопідготовки стічних вод до знезараження їх озоном (механічне відстоювання, фільтрування через активоване вугілля, коагулювання оксихлоридами алюмінію). В результаті досліджень доведено, що найбільша ефективність забезпечується при застосуванні

технологічної схеми «коагулювання - озонування»). Дану очисну установку застосовують на судах [18].

Ефективність знезараження стічних вод за допомогою озону залежить від удосконалення технологічного процесу. При комбінованому використанні озонування, УФ-опромінення, ультразвуку та СВЧ якість знезараження стічних вод значно зростає [19].

Знезараження стічних вод озоном доцільно застосовувати після їх очищення на фільтрах або після фізико-хімічного очищення, що забезпечує зниження вмісту зважених речовин не менш ніж до 3 -5мг/дм<sup>3</sup> і БПКповн до 10 мг/дм<sup>3</sup>. Принципові труднощі при знезараженні озоном пов'язані з утворенням токсичних побічних продуктів, низькою розчинністю озону у воді, його власною високою токсичністю і вибухонебезпечністю. Озонування стічних вод може сприяти вторинному росту мікроорганізмів внаслідок утворення органічних сполук у воді, що є доступними джерелами вуглецю для бактерій.

Більш глибокі зміни хімічного складу води спостерігаються, якщо в схемі після озонування води застосовується хлорування. У цьому випадку хлорування побічних продуктів озонування води призводить до утворення тригалометанів [20, 21, 22].

Оскільки озонування все частіше застосовується для очищення та знезаражування води зростає можливість надходження залишкового озону до водойм та їх вплив на гідробіоти. Р.А. Шахматова і співавт. [23] установили, що при концентрації озону 1,5 мг/дм<sup>3</sup> найпростіші (коловратки, *Daphnia magna*, *Herpobdella octoculata*, *Limnaea stagnalis*) гинуть протягом 0,5 год. При концентрації озону у воді 0,5 мг/дм<sup>3</sup> найпростіші гинуть через 5 год. Концентрація озону 0,0001 мг/дм<sup>3</sup> для найпростіших мало токсична, вони залишаються живими понад 120 год.

Озон виявляє також віруліцидну дію [24]. Інактивація ентеровірусів залежить від дози озону і часу контакту з ним. Швидкість інактивації вірусу поліомієліта при дозі озону 5 мг/дм<sup>3</sup> була вірогідно вищою ніж при дозі 3 мг/дм<sup>3</sup>.

Дослідженнями Орлова В.А. встановлено [22], що при озонуванні побутових стічних вод, попередньо коагульованих, відстояних і відфільтрованих, процес окислення розчинених органічних речовин протікає найбільш інтенсивно в перші 20-30 хвилин, а швидкість і глибина процесу озонування різко зростає з підвищенням рН стоків і збільшенням концентрації озону. Автори рекомендують знезаражувати стічні води при рН не нижче 6,5, що доцільно як з технологічної, так і економічної точок зору. Оптимальними параметрами процесу озонування побутових стічних вод пропонуються: рН 8-8,5, концентрація озону 50-55 мг/дм<sup>3</sup>, експозиція - 20-30 хвилин [25]. Авторами доведено, [26] що окислювальні властивості озону найбільш сильно проявляються в лужному середовищі. При рН - 11-12, витратах озону 450-550 мг/дм<sup>3</sup> інтенсивність забарвлення господарчо-побутових стічних вод знижується в 20-25 разів, кількість виважених речовин зменшується у 15 разів. ХПК, БПК<sub>5</sub> і концентрація синтетичних поверхнево активних речовин (СПАР) - в 6-7 разів. З урахуванням 20-30% "проскоку" озону, його витрати на 1 м<sup>3</sup> стічних вод становлять 300 г.

Оскільки, озон, що не вступив у реакцію, у воді швидко руйнується (біля 50% за 30 хвилин) Девісом [27] запропоновано здійснювати озонування за багатоступеневою схемою - в шести послідовно розташованих контактних резервуарах з введенням озону частинами в кожний резервуар.

Озон має овоцидні властивості відносно яєць аскарид і власоголовців. Повна дегельмінтизація досягається дозою озону від 209,4 до 357,6 мг/дм<sup>3</sup> і експозицією 60-180 хв. Яйця лентеця широкого і опісторхіса є менш резистентними до озону, ніж яйця аскарид. Так, при дозі озону 25 мг/дм<sup>3</sup> і експозиції 40 хв. яйця лентеця широкого і опісторхіса знищуються повністю, в той час як яйця аскарид навіть при дозі озону 30 мг/дм<sup>3</sup> і експозиції 90 хв. гинуть тільки в 36,3 % випадків [28, 29].

Наприкінці 60-х і 70-х років почались активні пошуки нових методів знезараження стічних вод. В цей період у розвинутих країнах Європи і Північної Америки були створені програми по розвитку альтернативних технологій знезараження природних і стічних вод (наприклад, Програма Агентства охорони навколишнього середовища США в 1976-1984 гг.). В результаті роботи по цим програмам було створено обладнання по знезараженню природних і стічних вод ультрафіолетовим випроміненням. Сьогодні кількість систем ультрафіолетового випромінення, які застосовуються для знезараження стічних вод, постійно зростає з кожним роком. У світі ультрафіолетові системи діють більше ніж на 3000 очисних спорудах для стічних вод. Загальний обсяг стічних вод, що знезаражуються УФ-випроміненням, складає більше 1 млн м<sup>3</sup>/рік.

Метод ультрафіолетового знезараження має ряд переваг по відношенню до хлорування [8].

- на відміну від хлору, при ультрафіолетовому випроміненні не утворюються побічні токсичні і мутагенні сполуки (хлороформ і інші хлорпохідні);

- одночасно покращуються органолептичні властивості водного середовища, руйнуються стійкі органічні сполуки;

- знезараження ультрафіолетом відбувається за рахунок фотохімічних реакцій всередині мікроорганізмів, тому на його ефективність зміна якості води впливає значно менше, ніж при знезараженні хімічними реагентами, зокрема, на вплив ультрафіолетового опромінення на мікроорганізми не впливають рН и температура води;

- у випадку передозування відсутні негативні ефекти, що дозволяє значно спростити контроль за процесом знезараження і не проводити аналізи на вміст у воді залишкової концентрації дезінфектанту;

- час знезараження при УФ-опроміненні складає 1-10 сек у проточному режимі, тому відсутня необхідність у створенні контактних ємкостей;

- експлуатаційні витрати є значно меншими, що пов'язано з невеликими витратами електроенергії, відсутністю потреби у дорогих реагентах, а також відсутністю необхідності в реагентах для дехлорування;

- відсутня необхідність для створення складів токсичних хлорвміщуючих реагентів, які потребують дотримання спеціальних заходів технічної і екологічної безпеки;

- УФ- обладнання є компактним, потребує мінімальних площ, його упровадження в діючі технологічні процеси очистних споруд можливо без їх остановки, з мінімальним обсягом будівельно-монтажних робіт.

Важливими параметрами для обробки стічних вод є потужність і доза УФ- випромінення. В залежності від дози опромінення можна спостерігати три основних періоди змін у клітині мікроорганізму, що призводять до її загибелі. При дуже малому опроміненні в клітині з'являються вакуолі, які поступово збільшуються. Друга фаза характеризується появою у плазмі клітин надзвичайно маленьких жирових кульок внаслідок розщеплення ліпопротеїнового комплексу плазми. Третя фаза настає при більш тривалому опроміненні, внаслідок чого відбуваються незворотні зміни в клітині. Таким чином, ультрафіолетове випромінення прискорює темп життєздатності мікроорганізмів і викликає швидке старіння клітин. Ефективність дії ультразвукових хвиль на мікроорганізми залежить від початкової концентрації клітин в одиниці об'єму стічних вод, а також від рівня частоти ультразвуку. Для більш надійного оброблення стічних вод необхідно застосувати бактерицидні установки, обладнані джерелом ультрафіолетового опромінення з великим бактерицидним потоком, а це ускладнює їх упровадження в умовах виробництва.

Як свідчать останні дані наукових досліджень, за останні 15 - 20 років стійкість патогенної мікрофлори до хлору підвищилася в 5 разів, до озону - в 2-3 рази, до ультрафіолетового випромінювання - в 4 рази [30]. Це означає, що з урахуванням подальшого підвищення стійкості мікроорганізмів, вірусів та найпростіших, при проектуванні систем знезаражування необхідно передбачати рівні випромінення з урахуванням динаміки зростання опірності мікроорганізмів. Саме тому, зараз в економічно розвинених країнах мінімальна доза впливу ультрафіолетового випромінювання визначена в  $40 \text{ мДж/см}^2$ , а у всіх станціях по знезараженню питної води і стічних вод, що проектується, доза ультрафіолетового випромінювання закладається на рівні  $70-100 \text{ мДж/см}^2$ .

У цьому випадку найбільш перспективними є методи комбінованого впливу на воду різних дезінфікуючих засобів і способів.

Одним з комбінованих методів для знезараження питної води і стічних вод, є метод, який використовує одночасний вплив на воду ультразвуку і ультрафіолетового випромінювання. Але цей метод також не позбавлений певних недоліків: залежність від каламутності та кольоровості води, що знезаражується, виду мікроорганізмів, їх кількості, дози опромінення, відсутності надійного способу оперативного контролю за ефективністю знезаражування тощо. Крім того, ефективна доза УФ-опромінення при усіх інших рівних умовах залежить від типу установки. Це потребує перевірки ефективності роботи обладнання у кожному конкретному випадку. На кварцевому чохлі УФ-ламп можливе осадження гумінових кислот, заліза та солей марганцю, що зменшує інтенсивність випромінювання. Технологія не має ефекту післядії, що обумовлює вторинний ріст бактерій в обробленій воді. Реактивація мікрофлори виникає у тих випадках, коли інтенсивність УФ-опромінення нижча необхідного рівня. Оброблена вода може вторинне забруднюватися та опромінюватись видимим світлом (фотореактивація). Поряд із фотореактивацією можлива реакція - зростання у



мікроорганізмів попередньо опромінені УФ-світлом стійкості до дії короткохвильового УФ-опромінення.

Альтернативою для реагентних способів знезараження стічних вод можуть бути різні електрохімічні методи: оброблення води змінним електричним струмом, дія надзвичайно високих частот (НВЧ), високих частот (ВЧ) та низьких частот (НЧ), ультразвук та магнітна обробка тощо.

Досі не існує достатніх доказів безпосереднього впливу НВЧ-поля на мікробну клітину. Бактерицидний ефект пояснюється безпосередньою взаємодією електромагнітного поля з життєво важливими елементами клітини. Результатом цього є загибель або пригнічення її життєдіяльності. Так, внаслідок випромінювання спостерігається часткова інактивація мікроорганізмів і зміна їх морфологічних властивостей. При цьому відбувається незначне підвищення температури в клітинах, що пояснюється зміною проникності їх стінок.

На основі численних досліджень було встановлено, що бактерії в слабких електролітах гинуть при частоті електромагнітного поля порядку 10-30 МГц, а особливо при 60 МГц. Було висунуто припущення, що летальний вплив НВЧ-енергії на мікроорганізми слід віднести до теплового фактору. Встановлено, що оброблення при низьких температурах не призводить до інактивації мікроорганізмів. Відомо, що тривалість оброблення залежить від потужності НВЧ-поля. На практиці швидкість НВЧ нагрівання характеризується або теплою нагрівання, або тривалістю обробки. Аналізуючи вище сказане, слід зазначити перспективність застосування надзвичайно високих частот, але значна вартість та складність апаратурного оформлення, виникнення температурної неоднорідності, необхідність створення рівномірності поля, а також підвищені вимоги до кваліфікації обслуговуючого персоналу обмежують застосування способу електромагнітної надвисокочастотної обробки стічних вод.

При використанні струмів високої частоти (ВЧ) середовище нагрівається і немає контакту з джерелом електроенергії. Основна частина електромагнітної енергії перетворюється на теплову, при цьому має місце діелектричне нагрівання. Застосування цього методу виявилось дорожчим, ніж традиційні методи, тому він не знайшов широкого практичного застосування.

Альтернативою хлору є і радіаційна обробка стічних вод гамма-випромінюванням кобальту (Co) і цезію (Cs) [31, 32] Доза радіаційної стерилізації не перевищувала 25 кГр, а поглинальна доза, яка дозволяла знизити концентрацію органічних токсичних речовин, складала 80 кГр. Недоліками цього методу є його висока вартість, великі габарити устаткування та незначний ресурс його роботи.

На сьогодні у світовій практиці найбільш перспективними для використання в технології очищення води з метою знезараження вважаються біоцидні полімери, які практично нетоксичні для теплокровних і не мають негативних властивостей як реагенти окислювальної дії. Розроблені біоцидні полімери добре розчинні у воді. Їх розчини не мають запаху та забарвлення, нелеткі, стабільні і безпечні при застосуванні, зберіганні і транспортуванні, не агресивні по відношенню до різноманітних матеріалів. Їх використання в технології очищення і знезараження природних і стічних вод може забезпечити

санітарну надійність функціонування водопроводів господарсько-питного водопостачання і систем каналізування [33, 34, 35].

Протягом останніх 30 років ведуться розробки електроімпульсних методів знезараження рідин, заснованих на створенні високовольтного розряду в рідині. Імпульсний розряд в рідині сприяє виникненню кавітаційних явищ, гіпохлорит-іонів, активних радикалів, а також УФ-випромінювання з каналу розряду. Незважаючи на досить тривалу історію вивчення даного методу дезінфекції, його реалізація і зараз не вийшла з стадії стендових випробувань. Інші фізичні методи знезараження, такі як обробка води прискореними електричними зарядами, електричними розрядами малої потужності, змінним електричним струмом, магнітна обробка, термообробка, обробка ультразвуком, мікрофільтрування, радіаційне знезараження використовуються рідко внаслідок високої енергоємності або складності апаратури, а також не вивченості хімічних сполук, що утворюються в процесі оброблення води. Багато з цих методів перебувають на стадії наукових розробок.

Біологічний метод займає провідне місце в очищенні господарсько-побутових стічних вод, в процесі якого відбувається і знезараження стічних вод.

Дослідженнями вітчизняних і закордонних авторів доведена можливість доочищення стічних вод в біологічних ставках з вищими водяними рослинами. Це один з природних, надійних та рентабельних методів є альтернативою до фізико-хімічних методів доочищення стічних вод. Біоставки з вищими водяними рослинами виступають надійним бар'єром розповсюдження збудників інфекційних хвороб та інвазій з водним шляхом передачі серед населення та заслуговують позитивної гігієнічної оцінки [36, 37, 38, 39, 40].

У більшості країн світу для охорони поверхневих водойм від біологічних, органічних і мінеральних забруднень при скиданні стічних вод, поряд з відомими методами, використовують очисні каналізаційні споруди, в яких домінують природні процеси самоочищення, зокрема, біологічні ставки. В них вода під впливом природних факторів самоочищення постійно звільняється від патогенних бактерій, вірусів, яєць гельмінтів, органічних та мінеральних речовин [37].

На сьогодні 70,5% таких біологічних ставків використовується в країнах СНД як споруди доочищення, у тому числі 11,5% - після механічного очищення, в 59,0% - штучного біологічного очищення. Після повного біологічного очищення ефективність знезаражування очищеної води досягає 90-95%, а доочищення в біологічних ставках дозволяє знезаразити воду до 99,9% [38]. Після доочищення в біологічних ставках у стічних водах зменшується загальна кількість органічних речовин на 50%, амонійних солей - на 30-70%. На думку авторів, для очищення стічних вод, що містять до 100 мг/дм<sup>3</sup> органічних речовин, доцільно застосовувати систему двосекційних ставків глибиною до 2,7 м, що забезпечується тривалість перебування в них стічних вод не менше 6-7 діб. Значна контамінація вихідних стічних вод кишковою мікрофлорою викликає необхідність збільшення кількості секцій біологічних ставків до 3 і тривалості перебування в них стічних вод до 10-12 діб. Перед відведенням у водойми стічні води необхідно знезаразити. Очищені в біологічних ставках міські стічні води з вмістом органічних речовин до 60 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (за ХПК) і 4 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> (за БПК<sub>5</sub>),

азоту амонійного - 1,5 мг/дм<sup>3</sup>, нітратів - 10 мг/дм<sup>3</sup>, при розведенні з водою водою в 20 разів не впливають несприятливо на процеси самоочищення в них.

Разом з тим, при використанні біологічних ставків виникає проблема видалення і утилізації мулу, що утворюється. В одних випадках, мул, що видаляється з біологічних ставків, підсушують на мулових майданчиках або компостують, в інших - використовують як добриво. Часто мул складається вздовж берегів або видаляється на звалища.

Широкому упровадженню біологічних ставків в практику очищення стічних вод до недавнього часу заважали ряд факторів: необхідність в значних територіях для улаштування очисних каналізаційних споруд, токсичність промислових стоків для фіто - та зоопланктону, сезонність роботи. Але простота та невисока собівартість таких споруд, а також розробки в області інтенсифікації процесів самоочищення в біологічних ставках за рахунок культур вищих водяних рослин, обумовили значний практичний інтерес до них як ефективного та дешевого способу третинного очищення стічних вод, що моделює процеси природнього самоочищення в поверхневих водоймах.

**Висновки:** Аналіз існуючого практичного досвіду знезараження стічних вод показав, що на сьогодні інтенсивно розробляються екологічно чисті методи знезараження господарчо-побутових і промислових стічних вод, альтернативних хлоруванню. Однак, слід відмитити, що забезпечити надійний рівень знищення або суттєвого пригнічення патогенної мікрофлори стічних вод можливо лише при ретельному дотриманні рекомендованого санітарно-гігієнічного і технологічного регламенту оброблення. Багато методів ще знаходяться на стадії наукових розробок, лабораторних та виробничих випробувань.

#### **Література:**

1. Алипов А.Н., Водобеспечение населения, промышленности и сельского хозяйства Донбасса. Вовлечение собственных ресурсов / А.Н.Алипов, Д.Д.Мягкий, С.В. Янковская // Вода і водоочисні технології.- 2007.- № 4.- С.17-22.

2. Данілішин Б.М. Державна цільова екологічна програма «Програма упорядкування водовідведення в населених пунктах України» як основний документ перспективного розвитку водокористування в країні / Б.М.Данілішин, О.О.Дмитрієва // Вода і водоочисні технології .- 2006.-№ 3.-С. 17-22.

3. Blume T. Kombinierte Methoden mit Ultraschall zur Desinfektion von Abwasser//TU Hamburg-Harburg reports on Sanitary Engineering 50 –2005. – P. 79-90.

4. Русанова Н.А. Хлорирование и дехлорирование городских сточных вод / Н.А. Русанова, Г.В. Овечкина // Водоснабжение и санитарная техника. - 2002.-№ 2.- С. 30-32.

5. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения. – М.: Стройиздат, 1986. - 72 с.

6. Гирин В.Н., Гончарук Е.И., Салата О.В. и др. Обеззараживание сточных вод хлорактивными соединениями. - Киев, 1978.- 12 с.

7. Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И., Хруслова Т.Н., Циприян В.И. Гигиенические основы почвенной очистки сточных вод. - М.: Медицина, 1976. - 238 с.

8. Храменков С.В. Обеззараживание очищенных сточных вод ультрафиолетовым излучением на Московских станция аэрации (Глава из книги «развитие Московской канализации) / С.В. Храменков, В.А. Загорский, С.В.Костюченко, Н.Н.Кудрявцев// Водоснабжение и санитарная техника.- 2004.- № 4.-С.39-42.

9. Гончарук Е.И., Прокопов В.А. Очистка и обеззараживание сточных вод лечебных учреждений. – Киев: Будівельник, 1973. - 168 с.

10. Петренко Н. Ф. К обоснованию применения диоксида хлора для обеззараживания бытовых сточных вод / Н.Ф.Петренко, А.В. Мокиенко// Довкілля та здоров'я. - 2004. - № 1. -С. 14-17.

11. Петренко Н.Ф. К обоснованию применения диоксида хлора в системах водоснабжения и водоотведения объектов транспорта// Материалы Межд. науч. практ. конф. государств членов СНГ “Государственный санитарно-эпидемиологический надзор на транспорте”. –2002.- С. 243-247.

12. Петренко Н.Ф. Диоксид хлора как средство обеззараживания сточных вод (обзор литературы и собственных исследований)/ Н. Ф. Петренко, А. В. Мокиенко, Е. К. Созинова, М. В.Шутько // Гигиена населенных мест. - 2007. - Вып. 50.- С. 60-65.

13. Соловьева Ж. Ф. Екологічні аспекти очищення води діоксидом хлору / Ж.Ф.Соловьева, І.О.Малюченко// Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія - 2005. - Т. 43.- С. 69-71.

14. Кузнецов О.В. Гігієнічна оцінка ефективності очищення і знезараження стічних вод за санітарно-вірусологічними показниками (аналітичні дослідження) / О.В.Кузнецов // Актуальные проблемы транспортной медицины. - 2008.-№ 2 (12).-С.13-106.

15. Водоподготовка: Справочник. /Под ред. д.т.н., С.Е. Беликова. М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

16. Озонирование как процесс в технологии очистки сточных вод / В.П. Ущенко, Ю.В. Попов, С.В. Павлова, Е.В. Баева // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. - Вып. 3(17). -Режим доступа: [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).

17. Гриневич В.И. Деструкция фенола и синтетических поверхностно-активных веществ под действием озона / В.И. Гриневич, А.А. Гуцин, Н.А. Пластинина // Химия и химическая технология . – 2008. - Т. 51, Вып. 6.- С.86-90.

18. Сиденко В.П. Гигиеническое обоснование использования озона в природоохранной технологии очистки и обеззараживания загрязненных вод на транспорте / В.П.Сиденко, А.И.Приказюк // Актуальные проблемы транспортной медицины .- 2007.-№ 4 (10).-С.42-52.

19. Ахмедова О.О. Повышение эффективности локальных очистных сооружений сточных вод за счет применения комбинированных электрофизических методов воздействия / О.О.Ахмедова, С.Ф.Степанов, А.Г.Сошитов, К.Н.Бахтиаров// Современные проблемы науки и образования.- 2009.-№ 5.-С.56-60.

20. Загорский В.А. Обеззараживание сточных вод / В.А.Загорский, М.Н.Козлов, Д.А.Данилович // Третий международный конгресс «Вода: экология и технология» ЭКВАТЕК-98.- Москва, 1998. – С. 400-401.

21. Загорский В.А. Методы обеззараживания сточных вод / В.А. Загорский, Д.А. Данилович // Водоснабжение и санитарная техника. -1998.-№2.- С.2-5.
22. Орлов В.А. Озонирование воды.-М., Стройиздат.-1984.-С.19-33.
23. Шахматова Р.А., Курилкин П.В. Исследование биологической активности озона для гидробионтов//7 Всес. симпоз. по современ. пробл. прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования: Тез. докл. - Таллин, 1985. - С. 78-79.
24. Иванова О.Е. Инактивация энтеровирусов в сточной воде озоном/ О.Е.Иванова, М.В.Богданов, В.А.Казанцева // Вопросы вирусологии. - 1983. – Т. 28, № 6. - С. 693-697.
25. Мунтер Р.Р. Проблемы технологического оформления процессов озонирования сточных вод//Тез. VII Всесоюзного симпозиума по современным проблемам прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования. - Таллин, 1985. - С. 3-13.
26. Найденко В.В., Применение озонирования в технологических процессах биологической очистки и доочистки сточных вод / В.В.Найденко, Ю.Ф.Колесов, В.З.Ключихин // VII Всесоюзный симпозиум по современным проблемам прогнозирования, контроля качества воды водоемов и озонирования. Тез. докл. - Таллин, 1985. - С. 54-57.
27. Davis Y.M. G. The biological effects of mineral fibres//“Annoccur. Hyg.” – 1981. - 24, № 2. – P. 227-234.
28. Романенко Н.А., Шкавро З.М., Пронина А.В. Обеззараживание судовых сточных вод от яиц гельминтов//Гигиена и санитария.- 1987. - № 8. - С. 89 – 90.
29. По материалам международных конгрессов IUVA: 2-nd International Congress on Ultraviolet Technologies, IUVA, (2003,9-11 July), Vienna, Austria; Third International Congress on Ultraviolet Technologies, IUVA, Telus Whistler Conference Centre, Whistler, BC, Canada; IOA/IUVA World Congress on Ozone and Ultraviolet Technologies, August 27-29,2007, Hyatt Regency Century Plaza, Los Angeles, CA USA
30. Романенко Н.А. Изучение барьерной роли сооружений водопроводных станций в отношении возбудителей паразитарных заболеваний / Н.А. Романенко // Вода: экология и технология : материалы Второго междунар. конгресса. - М., 1996. - 311-312.
31. Арбузова Н.А. К вопросу о радиационном обеззараживании бытовых сточных вод//Гигиена и санитария. – 1978. - № 1. – С. 57-63.
32. Котов Ю.А., Соковнин С.Ю. Использование частотных сильноточных электронных пучков для водоподготовки и очистки сточных вод//Тез. докл. Междунар. выставки “Чистая вода Урала - 95”.- Екатеринбург, 1995. - С. 55.
33. Мариевский В.Ф., Баранова А.И., Фалендыш Н.Ф., Нижник Ю.В., Александрова Л.Н. Нетоксичные реагенты неокислительного действия для обеззараживания воды // Розвиток виробництва нових високоефективних коагулянтів і флокулянтів та технологій, їх впровадження у практику очищення природних і стічних вод: Збірник доповідей науково-практичної конференції.- К: НИКТИ ГХ, 1998.- С. 26 – 27.

34. Кузнецов О.Ю., Данилина Н.И. Процессы очистки и обеззараживания природных и сточных вод бактерицидным полимером // Третий международный конгресс «Вода: экология и технология» ЭКВАТЕК-98: Тезисы докладов. - Москва, 1998. – С. 419-420.

35. Пащенко А.В. Перспективы применения растворимых биоцидных полимеров для обеззараживания городских сточных вод // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. - 2002. - Вип. 18. - С. 264-268.

36. Кравець В.В., Шаповал О.Є., Гаркавий С.І., Попенко В.М., Бойко І.І., Дзюблик І.В., Гузь В.Г. Доочищення та безреагентне знезаражування стічних вод у біоставку, засадженому вищими водними рослинами // Довкілля та здоров'я. – 2005. – №2 (33). – С. 13-17.

37. Диренко А.А., Кнус А., Коцарь Е.М. Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Санитарная техника и водоснабжение. – 2006. – № 5. – С. 15–18.

38. Репин Б. Н., Русина О. Н., Афанасьева А. Ф. Биологические пруды для очистки сточных вод пищевой промышленности. М: Пищевая промышленность, 1999. - 207 с.

39. Справочник по современным технологиям очистки природных и сточных вод и оборудованию / Kruger International Consult A/S, Denmark, V.F. Karpuhin. – Copenhagen: Ministry of Environment and Energy, Danish Environment Protection Agency, Printed by Schultz Grafiks, 2001. – 253 p.

40. Гончарук Е.И., Гаркавий С.И. Попенко В.М., Кравець В.В., Бойко И.И. Доочистка и обеззараживание сточных вод в биопруду с высшими водными растениями // Химия и технология воды. – Киев, 2004. – Т. 26, №5. – С. 479-484.

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ СТОЧНЫХ ВОД (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

**Иванько О.М., Бидненко Л.И.**

**Резюме.** В работе представлен аналитический обзор современных методов обеззараживания сточных вод, которые используются на Украине.

Приведены примеры наиболее известных методов обеззараживания хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод, таких как хлорирование, озонирование, использование УФ-облучения, приведены их преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** сточные воды, хлорирование, озонирование, УФ-облучение.

## MODERN METHODS OF DISINFECTION OF SEWAGE (REVIEW)

**Ivanko O.M., Bidnenko L.I.**

**Summary.** In the work presented an analytical overview of modern methods of disinfection of wastewater, that are used in Ukraine.

Examples of the most well-known methods of disinfection of municipal and industrial wastewater, such as chlorination, ozonation, the use of UV-irradiation, given their advantages and disadvantages.

**Keywords:** waste water, chlorination, ozonation, ultraviolet irradiation.