

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ БЕЗПЕЧНИХ АЛЬТЕРНАТИВ ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПИТНОЇ ВОДИ

Петрук В.Г., Стискал О.А.

Вінницький національний технічний університет
Хмельницьке шосе, 95, 21000, м. Вінниця
kafedraeeb@mail.ru

Розглянуто альтернативні методи дезінфекції питної води. Обґрунтовано можливість пропонувати для водопідготовки сумішей оксидантів та діоксиду хлору. *Ключові слова:* дезінфекція, знезараження, хлорорганічні сполуки (ХОС), діоксид хлору, суміш оксидантів, біоплівки.

Анализ современных безопасных альтернатив дезинфекции питьевой воды. Стискал О., Петрук В. Рассмотрены альтернативные методы дезинфекции питьевой воды. Обоснована возможность предлагать для водоподготовки смесей оксидантов и диоксида хлора. *Ключевые слова:* дезинфекция, обеззараживание, хлорорганические соединения (МОС), диоксид хлора, смесь оксидантов, биопленки.

Analysis of new safe alternative disinfection of drinking water. Styskal O., Petruk V. Alternative methods of disinfection of drinking water are considered. The opportunity to offer mixtures of oxidants and chlorine dioxide for water treatment is substantiated. *Keywords:* disinfection, decontamination, organochlorine compounds (HOC), chlorine dioxide, oxidant mixture, biofilm.

Без води неможливе життя людини, а забезпечення її якості - першочергове завдання кожної держави. Передусім це стосується якості за санітарно-гігієнічними показниками (дезінфекція), відхилення від яких спричиняє серйозні спалахи інфекційних захворювань та кишкових хвороб. Водночас не можна нехтувати і санітарно-хімічними показниками, що теж можуть мати негативний вплив на здоров'я людини.

Існують різні методи дезінфекції води, однак багато з них мають свої значні недоліки. Наприклад, застосування хлору, гіпохлориту натрія, хлораміну супроводжується утворенням токсичних і канцерогенних побічних

продуктів – хлорорганічних сполук; озонування потребує надзвичайно високих капіталовкладень і супроводжується утворенням мутагенних і токсичних продуктів озонолізу; ультрафіолет недієвий проти деяких вірусів. Крім того, озонування, ультрафіолет та ультразвук не забезпечують ефекту післядії, що може призвести до повторного забруднення під час подачі води до споживача; срібло може накопичуватись в організмі людини і повільно виводиться, і, як важкий метал 2 класу небезпеки, може провокувати деякі патології. Доведено, що на спороутворювальні бактерії іони срібла не діють. Тому останнім часом в країнах світу поча-

ли впроваджувати альтернативні методи дезінфекції - використання діоксиду хлору або суміші оксидантів [1–4].

Мета досліджень – проаналізувати наведені альтернативні методи дезінфекції питної води.

Результати досліджень

Метод дезінфекції води сумішшю оксидантів (НСЮ, ОСГ, С₂) запатентований компанією MIOX Co. (США) [5]. Змішані оксиданти одержують методом електролізу розчину кухонної солі. Застосування безпечних сировинних ресурсів (вода, сіль, електроенергія) усуває необхідність зберігати небезпечні хімікати - рідкий хлор або товарний гіпохлорит натрію, які не вимагають облаштування спеціальних зон безпеки і у випадку витоків можуть стати причиною великої екологічної катастрофи [6].

Виробництво в точці споживання змішаних оксидантів в обсягах,

необхідних для використання, не вимагає транспортування небезпечних речовин, що веде до скорочення як транспортних витрат, так і витрат на забезпечення безпечності перевезення вантажів [6].

Змішані оксиданти ефективно видаляють і надалі не дають утворюватися біобростанню у резервуарах зберігання води й трубопроводах (рис. 1). Біобростання поглинають залишковий хлор у воді, надають воді неприємний смак, що змушує збільшувати первісне дозування хлору для досягнення його необхідної концентрації на кінцевій точці споживання та спричиняє утворення небезпечних канцерогенних сполук. Видалення біобростань за допомогою змішаних оксидантів дозволяє суттєво знизити об'єм дозування хлору, що гарантує поліпшення органолептичних показників води й значно знижує утворення побічних продуктів дезінфекції [6].



а)

б)

в)

Рис. 1. Внутрішня поверхня труби: а) при використанні гіпохлориту; б) через 6 днів після використання змішаних оксидантів; в) через 22 дні після використання змішаних оксидантів [6]

Суміш оксидантів має сильніші дезінфікуючі характеристики, ніж гіпохлорит або рідкий хлор. Порів-

няно зі звичайним хлором змішані оксиданти в такій же кількості й за такий же час забезпечують більш

ретельне й швидке усунення максимальної кількості мікроорганізмів та мають кращі смакові характеристики й запах. При дозуванні однакової кількості активного хлору залишковий хлор після змішаних оксидантів значно вище, ніж після товарного гіпохлориту або рідкого хлору (дослідження на водоканалі м. Нікополь) [6]. Рівень залишкового хлору при застосуванні змішаних оксидантів зберігається по всій довжині водопроводу протягом тривалого періоду часу. Цей ефект тісно пов'язаний з видаленням біоплівки, яка споживає залишковий дезінфектант у системі водопостачання, що суттєво скорочує окисні потреби [7].

Мала концентрація хлору в розчині змішаних оксидантів (менше 0,5%) запобігає корозії труб водопостачання, що дозволяє значно збільшити термін їхньої експлуатації. При використанні гіпохлориту натрію й змішаних оксидантів виміри в робочих зонах показали такі концентрації парів хлору в повітрі: гіпохлорит натрію – 0,03 мг/м³; змішані оксиданти – 0,0095 мг/м³ [8].

Проведені дослідження зі зберігання змішаних оксидантів свідчать про дуже низьку деградацію дезінфектанта, що дозволяє розчину змішаних оксидантів зберігати робочі характеристики до 20 раз довше порівняно з гіпохлоритом натрію [8].

Одним із етапів водопідготовки, особливо на водоканалах, є мікрофлукуляція. Застосування розчину змішаних оксидантів на етапі попереднього очищення знижує мут-

ність води й споживання коагулянта на 40%. Крім того, відзначається більш швидке утворення і випадання пластівців, а також зниження утворення побічних продуктів дезінфекції через зниження кількості органіки [9].

Змішані оксиданти МІОХ мають властивість нейтралізувати складові, які спричиняють запах води [10].

Найбільш важливо те, що застосування змішаних оксидантів зменшує утворення тригалогенметанів і галогеноцтових кислот:

- більш сильна дезінфікуюча дія змішаних оксидантів забезпечує видалення біоплівки із системи водопостачання й скорочення рівня органічних речовин і, як результат, зменшення окисності води;

- завдяки зниженій окисності води підприємства скорочують дозування хлору (забезпечення рівня залишкового хлору) і гарантують відповідний до норм рівень залишкового хлору;

- застосування змішаних оксидантів на етапі водопідготовки, зокрема попереднього очищення, за певних умов забезпечує ефект мікрофлукуляції, під час якого органічні речовини видаляються з води, що надалі скорочує кількість тригалогенметанів.

Скорочення кількості тригалогенметанів підтверджується й численними дослідженнями на підприємствах, які використовують змішані оксиданти (рис. 2). Скорочення, зазвичай, становить від 20% до 50%. Аналогічно й з галогеноцтовою кислотою [11].

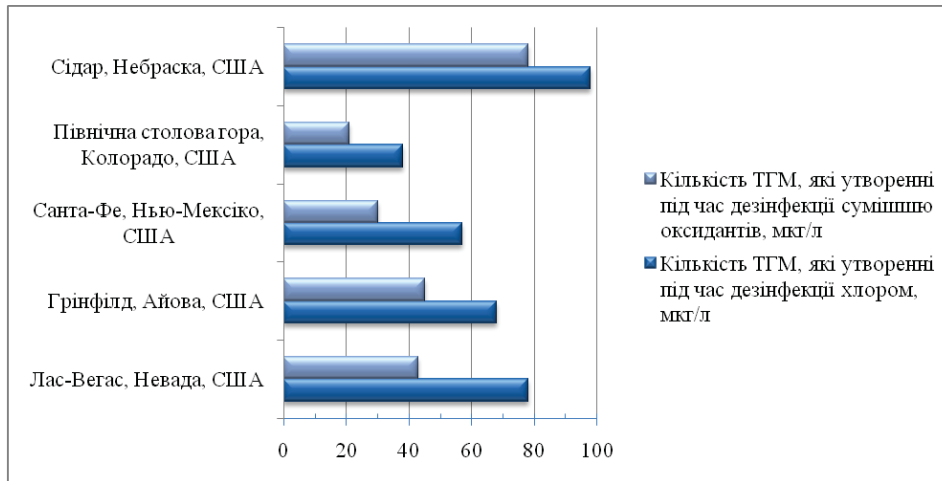


Рис. 2. Порівняльна характеристика утворення тригалогенметанів при хлорванні та дезинфекції змішаними оксидантами [11]

Протягом понад 10 років системи МІОХ щодня переробляють більше трьох мільярдів літрів води, що дало достатньо можливостей для вивчення, перевірки, дослідження й сертифікації устаткування. Застосування технології МІОХ для дезинфекції питної води повністю схвалене ЕРА US (Агентство по охороні навколишнього середовища), а також сертифікована NSF International як нетоксична. На сьогоднішні компанії встановила понад 1400 систем у більше, ніж 25 країнах усього світу. Зокрема, успішно експлуатуються генератори для одержання змішаних оксидантів і в містах України: Івано-Франківськ, Коломия, Хуст, Славутич, Яремче, Трускавець, Київ (дистриб'ютор МІОХ в Україні компанія ОНІКО) [12].

Метод дезинфекції води іншою сумішшю оксидантів, що передбачено в установках АКВАХЛОР-М (хлор, хлорноватиста кислота, озон, пероксид водню, діоксид хлору), здатною видаляти біоплівки з

поверхні водопроводів і при цьому не чинити на організм людини і навколишнє середовище будь-якого шкідливого впливу. Пов'язано це із принципами технології водопідготовки, які ґрунтуються на використанні для знезараження води механізму, створеного природою для захисту організму людей і тварин від інфекцій. Всі вищі багатоклітинні організми, включаючи людину, синтезують в особливих клітинних структурах (мікросоми гепатоцитів, ендоплазматичний ретикулум фагоцитів) хлорноватисту кислоту і високоактивні метастабільні хлоркисневі і гідропероксидні сполуки (метастабільну суміш оксидантів) для боротьби з мікроорганізмами і чужорідними субстанціями. Цей механізм антибактеріального захисту, створений природою, функціонує у внутрішньому середовищі організму тварин і людини протягом мільйонів років без будь-яких збоїв. Саме схожість процесів забезпечує нешкідливість суміші

оксидантів для організму людини і відсутність здатності мікроорганізмів до адаптації відносно метастабільної суміші оксидантів [13].

Ці оксиданти спільно з низкою гідропероксидних оксидантів, що знаходяться в мікрокапельках вологи, надають потужний синергетичний окисний вплив на органічні сполуки у воді, ефективно запобігаючи утворенню тригалогенметанів та інших хлорорганічних сполук. Також розчин оксидантів, на відміну від традиційної хлорної води, ефективно видаляє біоплівки з внутрішньої поверхні водопроводів, що зменшує швидкість корозії труб, надає воді відмінні органолептичні властивості [13].

Перевагами методу є створення систем будь-якої продуктивності у

виробничих приміщеннях різної конфігурації; не вимагається проведення проектних і спеціальних будівельно-монтажних робіт; безпечна експлуатація установок; принципово новий процес електрохімічного розкладу сольового розчину: іон-селективний електроліз з діафрагмою; автоматичне безреагентне очищення електрохімічних реакторів; автоматична підтримка заданої концентрації оксидантів в незаражуючій воді [1,14].

На сьогодні такі установки працюють на станціях очищення питної води, стічних вод, води плавальних басейнів у Росії, США, Німеччині, Фінляндії, Грузії, Туреччині, Україні, Казахстані, Малайзії, Еквадорі, Іспанії [14].

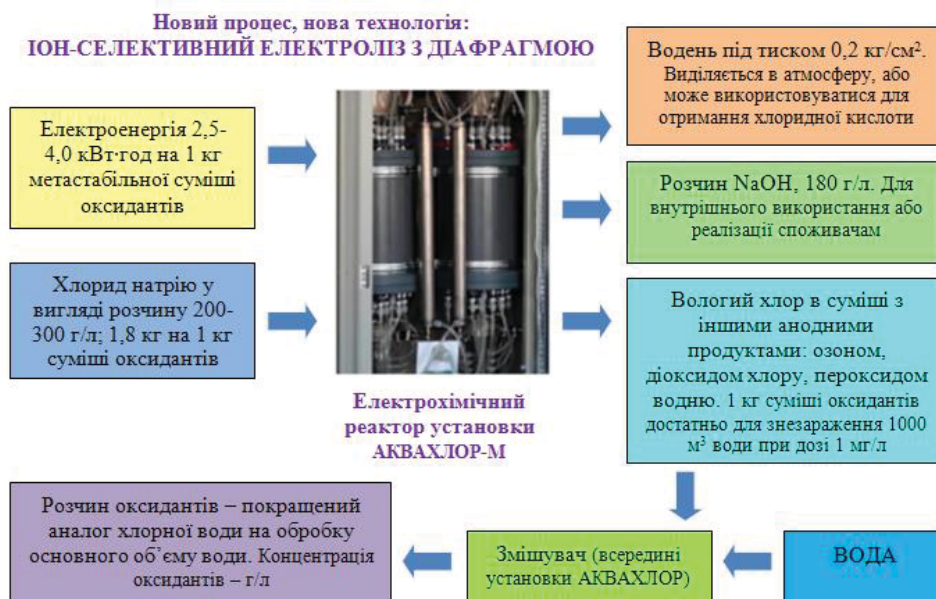
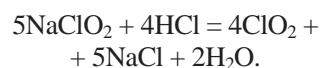


Рис. 3. Схема технологічного процесу роботи установки суміші оксидантів [13]

Дезінфекція води діоксидом хлору. Способами, що істотно знижують або практично повністю виключають утворення тригалометанів (ТГМ), є видалення з води речовин-попередників тригалогенметанів на стадіях підготовки води до хлорування (ці методи добре відомі і широко застосовуються), а також використання окислювачів, що реагують з органічними сполуками інакше, ніж хлор або бром. Наприклад, механізм взаємодії діоксиду хлору з гуміновими і фульвокислотами принципово відрізняється від механізму взаємодії хлору з цими сполуками. Діоксид хлору бере участь у реакції як окислювач, в той час як при обробці води хлором має місце як окислення, так і електрофільне заміщення (хлорування), яке призводить до утворення ТГМ. Численні дослідження показали, що діоксид хлору, вступаючи в реакцію з речовинами-попередниками ТГМ, дезактивує їх і робить їх нездатними вступати в реакцію утворення тригалометанів. Це означає, що попередня обробка води діоксидом хлору інгібує процес утворення тригалометанів, навіть якщо на наступній стадії обробки води буде використовуватися хлор. Однак, навіть комбінація хлору з діоксидом хлору далеко не завжди ефективна у боротьбі з біоплівками [2,13]. Крім того, дезінфекція таким методом не потребує транспортування і зберігання легкозаймистих вихідних речовин (оскільки діоксид хлору отримують безпосередньо на місці застосування), а також супроводжується утворенням хлоратів і хлоритів [1]. Проте отримані дані в досліджах А.В. Мокієнко та ін. на щурах [15] свідчать про

хімічну нешкідливість питної води, знезараженої діоксидом хлору.

Діоксид хлору є нестійким газом, який може вироблятися на місці використання у вигляді водного розчину з розчинів хлоридної кислоти і хлориту натрію (NaClO_2) шляхом наступної реакції [16]:



За своєю дезінфікуючою дією діоксид хлору в 4 рази перевершує дію хлору і практично не має супутніх йому негативних наслідків завдяки особливому механізму хімічної дії на забруднюючі речовини і мікроорганізми. Діоксид хлору має переваги:

- не утворюються тригалогенометани (ТГМ) і хлорфеноли;
- практично не утворюються органічні галогени, що не видаляються;
- не відбувається реакція з аміаком та іншими сполуками азоту;
- сильна дезінфікуюча дія практично не залежить від значень рН води;
- сильна дія на спори, віруси і водорості;
- не вносить негативних змін до запаху, смаку і кольору води;
- окислює органічні сполуки заліза і марганцю;
- покращує флокуляцію необробленої сирової води;
- незалежність окислювально-відновлювального потенціалу від рН і присутності у воді аміаку і інших сполук азоту;
- знижує жорсткість води;
- тривалий (до 7 діб) бактерицидний ефект у водорозподільчих системах і, як наслідок, видалення мікробіологічних відкладень в системі трубопроводів [16].

Одна із перших систем водозабезпечення, в якій успішно використовують діоксид хлору, була введена в експлуатацію в США в 1944 р. У 1958 році вже 150 систем водозабезпечення США застосовували діоксид хлору. В Німеччині його використовують з 1959 р. На Україні з 1995 року змонтовані і знаходяться в експлуатації діоксидні установки для знезараження питної води в містах Іллічівськ, Південний, Килія (Одеська обл.), Жовті Води, Севастополь (тільки змонтовано), промислові підприємства: пивзавод «Оболонь», «Радомишль», молочний завод «Лакталіс Україна» (м. Миколаїв), Миронівський комбінат хлібопродуктів [16].

Висновки

Отже, такі альтернативні методи дезінфекції питної води, як застосу-

вання діоксиду хлору або суміші оксидантів (МІОХХ та АКВАХЛОР-М) можна з безпечністю рекомендувати у практику водопідготовки. Основними їх перевагами є набагато менша кількість утворення або відсутність токсичних і канцерогенних побічних продуктів (тригалогенметанів та галогеноцтових кислот), боротьба з біоплівками, сильніші дезінфікуючі характеристики та доступність і безпека необхідних компонентів – сіль та електроенергія (для отримання суміші оксидантів) або хлорит натрія та хлоридна кислота (для отримання діоксиду хлору). Однак, перед застосуванням діоксиду хлору варто попередньо дослідити методи вилучення побічних продуктів (хлоратів і хлоритів) із питної води.

Література

1. Бахир В.М. Дезинфекция питьевой воды: проблемы и решения // Питьевая вода, 2003. – № 1. Режим доступу: <http://www.bakhir.ru/rus/publications/17-A-ChlorArticle-1.htm>.
2. Крамаренко Л.В. Спецкурс з очистки природних вод. – Харків: ХНАМГ, 2010. – 122 с.
3. Стискал О.А., Петрук В.Г. Аналіз чинників екологічної небезпеки хлорованої питної води // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – №5. – С. 69–75.
4. Стискал О.А., Петрук В.Г. Аналіз сучасних методів та екологічна безпека знезараження питної води // Збірник наукових статей IV Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology–2013), 25–27 вересня. – Вінниця: Видавництво-друкарня ДІЛО, 2013. – 552 с. – С. 96–99.
5. David Von Broembsen, “Mixed Oxidant Electrolytic Cell”, US Patent 20120061251, March 15, 2012.
6. Анатолий Шубенок. Обеззараживание воды смешанными оксидантами // Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення», 2014. – № 5. – С. 69–72.
7. Забезпечення рівня залишкового хлору. Офіційний сайт компанії ОНІКО [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://water.oniko.ua/ua/problems/584/>.
8. Знезаражування води змішаними оксидантами: переваги й особливості. Офіційний сайт компанії ОНІКО [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://water.oniko.ua/ua/content/articles/4785/>.
9. Мікрофлокуляція. Офіційний сайт компанії ОНІКО [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://water.oniko.ua/ua/problems/583/>.
10. Смак і запах. Офіційний сайт компанії ОНІКО [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://water.oniko.ua/ua/problems/582/>.
11. Небезпечні побічні продукти дезінфекції. Офіційний сайт компанії ОНІКО [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://water.oniko.ua/ua/problems/585/>.
12. Офіційний сайт компанії ОНІКО [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://water.oniko.ua/ua/application/574/>.

13. Гришков И.А., Козлов И.В., Харламова Т.А. Гипохлорит, хлор, раствор смеси оксидантов: обобщенный сравнительный анализ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bakhir.ru/rus/publications/aq-cl-naocl-special.pdf>.
14. Аквахлор-М. Офіційний сайт компанії Delfin Aqua [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.delfin-aqua.com/aquahlor//>.
15. Мокиенко А.В. и др. Диоксид хлора и питьевая вода: к обоснованию безвредности / А.В. Мокиенко, Н.Ф. Петренко, А.И. Гоженко, Б.А. Насибуллин // Современные проблемы токсикологии, 2008. – № 1. – С. 42–45.
16. Знезараження води діоксидом хлору. Офіційний сайт проектно-монтажного підприємства ЕКВЕНТ [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ekvent.com.ua/uk/>.