



ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ ОЗОНУ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ТА ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ ТА СТОКІВ

Т.С. Шаляпіна, к.т.н., ТОВ «Харківська інженерна компанія»

Сучасні вимоги до якості води диктують необхідність впровадження нових екологічно безпечних технологій її очищення та знезараження. Широке впровадження озонування у практику водопідготовки та водовідведення пов'язане з високим окиснювальним потенціалом озону O_3 (2,07 В), який у 1,5 рази перевищує окиснювальний потенціал хлору (1,36 В). Такий високий показник окиснювального потенціалу забезпечує значну бактерицидну ефективність озону та можливість його використання для руйнування органічних речовин, що знаходяться у воді. Так, наприклад, патогенні мікроорганізми знищуються озоном в 15-20 разів, а спорові форми бактерій - в 300-600 разів швидше, ніж хлором. Ефективність знезараження води за допомогою озону набагато вища, ніж при використанні хлору.

Завдяки високому окиснювальному потенціалу озон вступає у взаємодію з багатьма мінеральними та органічними речовинами, руйнуючи їх. Озон може використовуватися для видалення з води солей заліза і марганцю, для руйнування (мінералізації) небезпечних органічних речовин, таких, як пестициди, гербіциди, феноли, нафтопродукти, поверхневі активні речовини та інші. Озон доцільно застосовувати при очищенні токсичних стоків звалищ

побутових відходів або стоків підприємств харчової, хімічної та фармацевтичної промисловості. У порівнянні з хлором озон має ряд суттєвих переваг. Так, він не погіршує смакових властивостей води, не призводить до виникнення в ній сторонніх запахів та присмаків. Озон не змінює природні властивості води. Передозування озону не є небезпечним, так як через дуже короткий час він перетворюється у звичайний кисень. Залежно від дози озону при його застосуванні можуть відбуватися знебарвлення води, її дезодорація і поліпшення смакових властивостей; зниження концентрації органічних домішок, що мають у своїй основі гумінові кислоти; зниження концентрації деяких органічних галоїдних речовин тощо.

Озон отримують з атмосферного повітря або кисню у спеціальних установках - озонаторах, які безпосередньо встановлюються поруч з об'єктом озонування, що виключає додаткові витрати, пов'язані з транспортуванням та зберіганням озону.

Будучи алотропною модифікацією кисню, озон не володіє стабільністю і у воді розпадається на молекулу і атом кисню. Швидкість розпаду зростає зі збільшенням вмісту солі, рН і температури води. Присутність металів та окиснювачів (хлор, бром та ін.) призводить до прискорення його деструкції. Тому оброблена озоном вода дуже швидко втрачає свою знезаражуючу властивість, що не дозволяє запобігти розвитку мікроорганізмів у довгих трубопроводах. При використанні озонування також необхідно пам'ятати, що озон та його водні розчини мають дуже високі корозійні властивості. Тому всі елементи озонаторів і трубопроводи, що контактують з озоном або його водними розчинами, повинні виготовлятися з корозійностійких матеріалів.

Як уже згадувалося, озон є екологічно безпечним та дуже ефективним реагентом. Світовим товариством озон дозволений для використання у якості знезаражуючого засобу. Міжнародний реєстраційний номер озону - CAS 10028-15-6. У таблиці 1 показана ефективність дії озону при знезараженні води. Однак, при використанні озонування необхідно пам'ятати, що озон є дуже токсичним: гранично допустимий вміст його у повітрі приміщень, де перебувають люди (згідно з ГОСТ 12.1.007-76), складає $0,1 \text{ мг} O_3 / \text{м}^3$. У зв'язку з цим при використанні озонування необхідно забезпечити всі заходи безпеки щодо запобігання можливості проникнення озону у приміщення, де працюють люди.



Таблиця 1. Ефективність дії озону при знезараженні води

Елемент	Окиснювач				
	Озон	Хлор	Окис хлору	Перманганат	Повітря
Залізо	+++	++	++	+	++
Марганець	+++	+	++	+++	o
Кольоровість	++	+	+	o	o
Запах	+++	*	+	o	+
Присмак	+++	+	+	+	+
Амоній	o	+	o	o	o
Органіка	+	+	+	o	o
Відновлювальна здатність	++	++	++	+	o
Біоокиснювальна здатність	++	*	*	o	o
Знезаражуюча здатність	++	++	++	+	o

де:

+++ – висока ефективність; ++ – помірна ефективність; + – мала ефективність; o – не впливає; * – негативна дія.

Процес обробки води озоном здійснюється у результаті насичення води озонованим повітрям. Кількість озону, який вводиться у воду (або доза озону), залежить від призначення технологічного процесу озонування води. Якщо озон вводять тільки для знезараження у фільтровану воду (після її попереднього коагулювання), то дозу озону беруть у інтервалі 1...3 мг/л, для підземної води - 0,75...1 мг/л; при введенні озону для знебарвлення та знезараження води доза озону може доходити до 6 мг/л. Тривалість контакту води з озоном при знезараженні питної становить 5-12 хвилин. При використанні озону для знезараження очищених стоків дозу озону вибирають у інтервалі від 6,5 до 11 мг/л з тривалістю контакту не менше 30 хвилин, що пов'язано з витратами озону на окиснювання органічних речовин, які знаходяться у стічних водах.

При проведенні процесу озонування велике значення має повнота змішування озону з водою. Існує декілька методів введення озono-повітряної суміші у воду. Так, озон може вводиться у воду через пористі матеріали, наприклад, пористу кераміку, перфоровані труби або спеціальні аератори. У цьому випадку змі-

шування озono-повітряної суміші з водою здійснюється за рахунок барботажу при проходженні озono-повітряної суміші через товщу води. Також озон можна вводити у воду за допомогою спеціальних інжекторів. У цьому випадку процес змішування здійснюється безпосередньо в інжекторі або одразу після нього у спеціальному змішувачі або трубопроводах. Однак, незважаючи на метод введення озону у воду, для здійснення ефективного озонування необхідно забезпечити встановлену тривалість контакту.



Таблиця 2. Коефіцієнт летальності дії різних дезінфектантів при знезараженні води (T=5°C)

Тип мікроорганізмів	Коефіцієнт летальності, л/(мг*хвилин)			
	Вільний хлор рН=6...7	Хлорамін рН=8...9	Діоксид хлору рН=6...7	Озон рН=6...7
Колі-індекс	92,2...135,6	0,026...0,048	6,15...11,5	230,5...3408
Поліовіруси	1,84...4,19	0,0012...0,06	0,69...23,1	23,1...46,1
Ротавіруси	92,2...461	0,0007...0,0012	2,20...23,1	76,8...768
Цисти лямблій	0,031...0,98	0,002	0,18	7,68...9,22
Цисти дорослих лямблій	0,0073...0,15	0,003	0,25...0,64	2,31...2,56
Криптоспоридії	0,0006	0,0003	0,03	0,46...0,92



Як уже зазначалось, озон має сильнішу, ніж хлор, бактерицидну, віруліцидну та спороцидну дію. Найбільша чутливість до озону визначена у патогенних бактерій. У той же час чутливість вірусів і найпростіших до озону значно нижча, ніж у того ж, наприклад, бактерицидного УФ опромінювання. Дози залишкового озону, необхідні для знезараження води при різному рівні її зараженості ентеровірусами, не перевищують 200 мгО₃/дм³ озону (при тривалості контакту, що дорівнює 12 хвилинам). Ці умови забезпечують відсутність ентеровірусів у 10 дм³ води, а лямблій - у 1 дм³ води. Слід зауважити, що параметри ефективних режимів знезараження залежать від якості води, що знезаражується, технології озонування, конструкції очисних споруд та інших чинників. При використанні озону для знезараження стічних вод необхідно брати до уваги, що для інактивації вірусів у стічних водах потрібні значно більші дози озону, ніж для тих же мікроорганізмів у чистій воді. Також заслуговує на увагу той факт, що озон є ефективним дезінфектантом для інактивації цист найпростіших. Як показує досвід, використання озонних технологій знезараження стічних вод за допомогою озону доцільно застосовувати після їх очищення на фільтрах або після фізико-хімічної або біологічної очистки.

На практиці для знезараження води використовують два типи реакцій. Пряме окиснювання - коли озон знаходиться у воді у вигляді молекулярного озону або в умовах, які сприятливі для швидкого розкладання молекулярного озону. Або АОР-технологія (технологія ак-

тивного окиснювання) - коли озон під дією УФ опромінювання сприяє утворенню вільних радикалів. У першому випадку дезінфекція за допомогою озону буде ефективнішою у воді з відносно низьким показником рН. У другому випадку процес знезараження буде проходити ефективніше при більш високому значенні рН, тобто в присутності перекису водню та УФ опромінювання води, що сприяє розкладанню озону і утворенню активних радикалів - OH₂* або HO₂*, які мають високий окиснювальний потенціал.

На відміну від хлорування або УФ знезараження метод озонування технічно складний, і для його реалізації необхідно виконання ряду послідовних технологічних операцій, як то: очищення повітря, його охолодження і сушка, синтез озону, змішування озono-повітряної суміші з водою, що обробляється, відведення в атмосферу або деструкція залишкового озону.

Завдяки високому окиснювальному потенціалу озон вступає у взаємодію з багатьма мінеральними та органічними речовинами, руйнуючи їх. Озон може використовуватися для видалення з води солей заліза і марганцю, для руйнування (мініралізації) небезпечних органічних речовин, таких, як: пестициди, гербіциди, феноли, нафтопродукти, поверхневі активні речовини та інші.

Процес синтезу озону здійснюється при високій електричній напрузі (понад 1 кВ). При використанні озонних технологій необхідно брати до уваги, що озон більш токсичний, ніж хлор. Він викликає подразнення слизових оболонок очей і вражає органи дихання. Озон має високу корозійну активність, що негативно впливає на стан технологічного обладнання та трубопроводів, а також вимагає використання нержавіючих матеріалів.

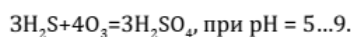
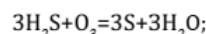
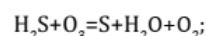
Процес синтезу озону відзначається високою енергоємністю і складає 12-22 кВт•годин на кожен кілограм озону. Загальні витрати електрики, що використовується у процесі озонування води, можуть сягати 30-40 кВт•годин/кгО₃. Ці витрати пов'язані з технологічним забезпеченням процесу отримання озону, а саме: з осушенням та охолодженням повітря, яке використовується для отримання озону, роботою систем охолодження високовольтних та низьковольтних електродів озонатора та ін.

Враховуючи, що процес озонування є достатньо енерговитратним, перед прийняттям рішення про застосування



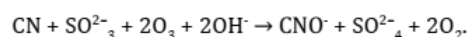
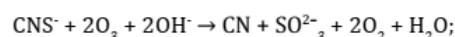
озонових технологій потрібно ретельно вивчити доцільність його використання. Так, дбаючи про високу якість питної води, доцільно використовувати озон на стадії первинного знезараження води з поверхневих джерел або для глибокого очищення стоків від органічних речовин після їх біологічного очищення. Так, використання технології озонування побутових стоків дозволило зменшити кількість завислих речовин на 60%, БПК - на 60-70%, ХПК - на 40%, поверхнево-активних речовин (ПАР) - на 90%, фенолів - на 40%, азоту - на 20%, а також знизити кольоровість води на 60%, при одночасному їх знезараженні.

Дуже перспективним напрямком застосування озонових технологій є обробка промислових стоків для видалення з них нафтопродуктів, СПАР, ціанідів, фенолів, органічних розчинників та барвників, іонів важких металів та ін.



Необхідну для очищення стоків дозу озону обирають із розрахунку не менше 0,6...1,4 мгО₃ у розрахунку на 1 мг з'єднань сірки, що знаходиться у воді (H₂S, HS, S₂), при цьому обов'язково необхідно враховувати витрати озону на окиснення органіки.

Також доцільно використовувати озон для очищення води та промислових стоків від ціанідів та родонітів:



Дуже перспективним напрямком використання технології озонування є застосування озону для видалення нафтопродуктів. Піддаючи деструкції органічні речовини, озон сприяє утворенню граничних і ненасичених вуглеводнів, що впливає на концентрацію у воді нафтопродуктів і призводить до збільшення ефективності очищення стоків.

Проведені попередні дослідження показали, що на стадії озонування з води можна видалити від 26% до 82,7% нафтопродуктів. За допомогою подальшого фільтрування на піщаному фільтрі можна значно підвищити відсоток вилучення забруднень і довести його до 94,1-97,65%. Решту забруднення можна видалити з води за допомогою адсорб-



Таблиця 3. Очищення стоків від нафтопродуктів

Доза озону, мгО ₃ /дм ³	Вихідна концентрація нафтопродуктів, мг/дм ³	Озонування (1 ступінь)		Піщаний фільтр (2 ступінь)		Вугільний фільтр (3 ступінь)		Ефективність очищення, %
		Концентрація нафтопродуктів, мг/дм ³	Ефективність очищення, %	Концентрація нафтопродуктів, мг/дм ³	Ефективність очищення, %	Концентрація нафтопродуктів, мг/дм ³	Ефективність очищення, %	
1,5	10,3	7,64	26	0,18	97,65	0,09	50	99,2
4,4	17,6	4,3	75,6	0,18	95,8	0,12	34	99,3
7,0	17,9	3,1	82,7	0,17	94,1	0,11	36	99,3

Одним із найбільш цікавих напрямків використання озонових технологій є використання озону для очищення стоків із високим вмістом сірководню:

ції, що дозволяє досягти високої (99,2-99,3%) ефективності очищення.

Ще одним із цікавих і дуже складних напрямків застосування озонових технологій є використання озону для видалення зі стічних вод фенолу. Практично всі феноли мають



Таблиця 4. Очищення стоків від фенолів

Доза озону, мгО ₃ /дм ³	Вихідна концен- трація фенолів, мг/дм ³	Озонування		Сорбційна очистка		Ефективність очищення, %
		Концентрація фенолів, мг/дм ³	Ефективність очищення, %	Концентрація фенолів, мг/дм ³	Ефективність очищення, %	
1,24	0,036	не виявлено	100	-	-	100
5 ... 7	0,058	не виявлено	100	-	-	100
5 ... 7	1,04	0,029	97,2	0,0055	81	99,5
5 ... 7	7,7	0,041	99,5	0,024	42	99,7

високі швидкості реакції з озonom. Швидкість окислення фенолів залежить від концентрації фенолів, рН води і дози озону. Встановлено, що для ефективного окислення фенолів на одну молекулу фенолу повинно витрачатися 2-4 молекули озону. Окислення фенолів здійснюється при високому значенні рН=10...11,4. Реакція розкладання фенолу озonom протікає в кілька стадій з утворенням таких проміжних продуктів окислення, як мурашина, гліоксалева та ін. кислот. За допомогою озонування можна досягти очищення стічних вод від фенолів до рівня 0,05 мг/дм³ і нижче. У середньому для очищення стоків від фенолів (у чистому водному розчині) питомі витрати електрики у розрахунку на 1 кг окисленого фенолу становлять 50-100 кВт•годин, що, з одного боку, відносить цей метод до дуже енерговитратних, а з іншого боку, метод озонування дозволяє здійснити ефективне очищення стічних вод від фенолів. Ще вищий ефект видалення фенолу спостерігається при спільній дії озонування і УФ опромінювання, тобто при застосуванні технології активного окиснювання з послідовним використанням сорбційного методу очищення. В цілому ефек-

тивність очищення стоків від нафтопродуктів за допомогою озону по всіх стадіях обробки може перевищувати 99%.

Як видно з цього коротенького огляду, застосування озону для очищення питних вод та стоків дозволяє не тільки здійснювати їх ефективне знезараження, але й зменшити кольоровість води, здійснити її дезодорацію, видалити з води сторонні домішки та речовини. Використання озону замість хлору доцільно застосовувати у таких випадках:

- ✓ при вмісті у воді речовин, що при реакції з хлором утворюють більш токсичні продукти або погіршують органолептичні властивості води;
- ✓ при отриманні в результаті хлорування високих залишкових концентрацій хлору, що потребує дехлорування;
- ✓ при вмісті у воді патогенних вірусів і спорових бактерій;
- ✓ при необхідності комплексного очищення, наприклад, від фенолів, формальдегіду, нафтопродуктів, пестицидів тощо.

На наш погляд, найбільш ефективне використання озонних технологій лежить у сфері первинного очищення і знезараження питної води та очищення стоків від токсичних речовин, таких, як фенол, пестициди, ціаніди, нафтопродукти та інші стійкі речовини, які важко видалити з води за допомогою біологічних методів очищення. Також дуже перспективним є використання озону для санації каналізаційних колекторів. Застосування озонних технологій у цьому випадку дозволить значно підвищити терміни експлуатації залізобетонних конструкцій і знизити витрати на їх технічне обслуговування. На сьогоднішній день інженерами «Харківської інженерної компанії» здійснюється розробка промислових генераторів озону для використання їх у технологіях очищення питної води та стоків.

Література

1. Алексеев А.С. Автореферат дисс. к.т.н. «Исследование процессов озонирования для интенсификации очистки сточных вод». - Москва, 2005.
2. Долина Л.В. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных и природных вод. Эл. ресурс: <http://www.library.diit.edu.ua/bitstream/123456789/830/1/NewMethod.pdf>.
3. <http://www.kaufmanntec.ru/activity/5/>.