



Некоз О. І.

Литвиненко О. А.

Логвінський Р. В.

**Національний
університет
харчових
технологій**

УДК 628.1:3:532.528

КАВІТАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ВІД ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН

В статті приведені результати очистки сточних вод з допомогою гідродинамічної кавітації. Показано, що пропонується спосіб забезпечує кращі показники, ніж традиційні методи.

In the article the results of cleaning of sewages are resulted by hydrodynamic cavitation. It is rotined that the offered method provides the best indexes, what traditional methods.

Вступ. Складна екологічна ситуація в країні примушує приділяти все більшу увагу технологіям водоочищення. Січні води мають широкий спектр різноманітних токсичних забруднювачів, отже спосіб їх нейтралізації і вибір окиснювача має бути таким, щоб забезпечити їх комплексне знешкодження.

Різноманітний характер і концентрації у забруднень стічної воді в багатьох випадках не дозволяє досягти необхідної якості оброблення традиційними методами. У такому випадку для очищення природних і стічних вод перспективними можуть бути технології, в яких використовують фізико-хімічні явища, які виникають при кавітації [1].

Як окиснювачі, використовують хлорне вапно, газоподібний хлор і його сполуки, озон та молекулярний кисень, пероксид гідрогену тощо.

Поєднання кавітаційного оброблення та одночасного реагентного оброблення сприяє суттєвому прискоренню окиснювально-відновлювальних реакції та поліпшенню якості очищеної води.

Експериментальні дослідження. Для дослідження впливу гідродинамічної кавітації на процеси реагентного очищення води від токсичних органічних речовин була створена лабораторна установка. Вона виготовлена з корозійостійкого матеріалу і має вигляд замкнутого циркуляційного контуру.

В контур послідовно включені відцентровий насос, що створює необхідний швидкісний напір, гідродинамічний кавітаційний апарат (ГКА), проміжна технологічна ємність. Кратність оброблення в ГКА визначали встановленим у контурі витратоміром, температуру - електронним вимірювачем, що сполучений із контактним датчиком

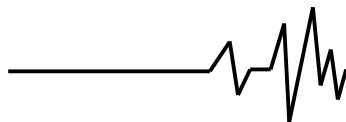
температури. Водневий показник середовища визначали рН-метром. Для регулювання режимів оброблення установка обладнана запірною-регулювальною арматурою. Через фіксовані проміжки часу, що відповідають певній кратності оброблення, відбирали зразки води для аналізу.

Вміст токсичної органіки у зразках визначали методом газової хроматографії з попереднім концентруванням. Для концентрування використовували полімерний сорбент - тенакс - із питомою поверхнею 30 м²/г. Воду (50...100 мл) пропускали через сорбційну трубку з тенаксом, на якому адсорбувались органічні забруднювачі. Потім домішки вимивали із сорбційної трубки органічним розчинником (ацетоном або метанолом) і проводили хроматографічний аналіз одержаного екстракту.

Аналіз проводили на хроматографі «Hewlett Packard» (модель 5890) із полуменево-іонізаційним детектором і інтегратором при температурах 40...200°C при програмуванні зміни температури 5 °/хв. Кількісний аналіз проводили методом абсолютного калібрування.

Для порівняння аналогічні експерименти проводили при перемішуванні в ємкості з механічною мішалкою, а також у барботажній колоні, що дозволяє моделювати типові технологічні процеси.

Відомо, що при здійсненні хімічних реакцій у кавітаційному полі відбуваються різноманітні окиснювально-відновлювальні реакції, процеси синтезу і деструкції, міжмолекулярного перегрупування тощо. Внаслідок цього переважна кількість гетероциклічних і ароматичних сполук зазнають перетворень, зокрема, бензол, що міститься у водному середовищі в присутності кисню



розпадається з розкриттям бензольного кільця [2] Водночас, результати досліджень впливу гідродинамічної кавітації на ароматичні вуглеводні практично невідомі. Нами проведено дослідження оброблення в ГКА модельних середовищ з різною концентрацією ароматичних вуглеводнів (фенолу, бензолу, толуолу) при різній кратності оброблення.

Вивчення деструктивного впливу гідродинамічної кавітації на фенол проводили при рН 6,0. Встановлено, що кількість деструктованого фенолу залежить, як від кратності N оброблення води в ГКА, так і від концентрації в ній фенолу. При високих концентраціях (100...200 мг/л) кавітаційне руйнування фенолу призводить до збільшення вмісту крезолів і інших домішок. Важливий практичний інтерес має вплив гідродинамічної кавітації на воду, що містить до 10 мг фенолу/л. Експериментально встановлено, що при таких концентраціях фенолу також спостерігається залежність вмісту його і продуктів його деструкції від кратності оброблення води в ГКА (табл. 1).

Таблиця 1
Результати досліджень деструкції фенолу від кратності оброблення в ГКА

N	Вміст токсичних речовин, мг/л			Сумарний вміст після оброблення, мг/л
	Фенол	Крезол	Токсичні продукти деструкції	
0	10	0	0	10
3	4,4	0,1	0,8	5,3
6	2,1	0,2	1,3	3,6
9	0,7	0,1	1,6	2,5
12	0,2	сліди	1,5	1,7
15	сліди	0	1,1	1,1
18	0	0	0,6	0,6
21	0	0	0,3	0,3
24	0	0	0,1	0,1
27	0	0	сліди	сліди

На початкових стадіях оброблення внаслідок мікроударної дії кавітаційних мікрострумків процес руйнування фенолу відбувається одночасно зі збільшенням вмісту в воді крезолів і інших домішок, які є продуктами деструкції фенолу. Проте, при деструкції 90% фенолу, починається руйнування новоутворених органічних сполук. При зниженні концентрації фенолу до 5 мг/л, кратність оброблення в ГКА до повного знешкодження фенолу й інших домішок склала 14 циклів, а

при концентрації 2 мг/л - 6 циклів. Як показують результати досліджень, використання методу кавітаційної деструкції фенолу в ГКА економічно доцільно для очищення води, що містить не більш 10 мг/л фенолу. При більшій його концентрації потрібно підвищення кратності оброблення до 60...100 циклів, що недоцільно через значні енерговитрати.

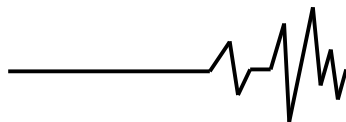
Крім того, руйнування фенолу прискорюється при підвищенні числа Рейнольдса (Re), яке характеризує характер течії потоку рідини, і одночасному зменшенні кратності оброблення. Наприклад, при роботі ГКА в режимі $Re = 8,5 \cdot 10^4$ кратність оброблення становить 27, а при переході до $Re = 13,5 \cdot 10^4$ аналогічний технологічний результат було досягнуто при кратності оброблення 25.

Таким чином, використання ГКА без підведення окиснювачів може бути ефективним при очищенні стічних вод від фенолу при його концентрації до 10 мг/л. Руйнування фенолу при одночасній нейтралізації токсичних сполук можна поліпшити при використанні кавітаційно-реагентного очищення, які передбачає підведення в ГКА відповідних реагентів.

При обробленні води, що містить бензол із концентрацією 186 мг/л, встановлено, що при деструкції бензолу під дією кавітації, виникають нові хімічні сполуки. Причому, їх якісне і кількісне співвідношення змінюється в залежності від кратності оброблення в зоні кавітаційного впливу. При зменшенні вмісту бензолу експериментально встановлено, що безреагентний метод кавітаційного оброблення економічно ефективний при концентрації бензолу не більше 15 мг/л. При його вищих концентраціях необхідно використовувати окиснювачі.

Встановлено, що для оброблення води з вмістом толуолу понад 12...16 мг/л нерационально використовувати тільки оброблення в ГКА через високі енергетичні витрати на перекачування води по контуру установки.

Внаслідок розпаду мінеральних добрив, засобів боротьби зі шкідниками тощо природна вода забруднюється роданидами – солями та ефірами тіоціанової кислоти, які входять до складу окремих пестицидів. Стічні води хімічних підприємств з виробництва штучних волокон, збагачувальних фабрик тощо також містять роданиди. Крім того, супутнім продуктом багатьох технологій органічного синтезу, переробки коксової сировини, збагачення руд кольорових металів, гальванічних виробництв тощо є ціаніди – токсичні сполуки, утилізація яких є важливою екологічною задачею. Роданиди та ціаніди добре розчиняються у воді,



тому їх нейтралізація до гранично допустимих концентрацій (0,05 мг/л) здійснюється комплексно з використанням різних методів: окиснення, іонного обміну, зворотного осмосу тощо. Вибір методу знешкодження в конкретному випадку визначається концентрацією забруднювачів і об'ємом очищуваної води.

Закономірності руйнування роданідів та ціанідів під дією ГД кавітації досліджували у водному розчині роданіду натрію (NaSCN) при рН 9,1. Аналіз одержаних результатів показує, що механізм руйнування зазначених речовин відбувається внаслідок їх гідролізу та одночасного окиснення розчиненим у воді киснем і радикалами ОН і Н₂О, які виникають внаслідок ударно-хвильової дії колапсуючих кавітаційних бульбашок.

Встановлено, що вміст NaSCN знижується при збільшенні кратності оброблення (табл. 2).

Таблиця 2
Інтенсивність руйнування NaSCN залежно від кратності оброблення

Показник	Вміст, мг/л	Кратність оброблення в ГКА, разів				
		2	4	6	10	15
NaSCN	24,7	5,6	2,2	0,8	0,3	0,2

Вміст забруднювача зменшується при підвищенні кратності оброблення, однак, такий спосіб доцільно використовувати при концентрації токсичної речовини до 20...30 мг/л. Якщо їх кількість становить понад 30 мг/л, в ГКА необхідно підводити окиснювачі, зокрема, хлор, озон або пероксид гідрогену, які найбільш ефективно підводяться в зону виникнення кавітації через кавітатор[3]. За таких умов створюється розвинена поверхня масообміну і реакційна здатність підведених реагентів підвищується, а витрати реагенту – найменші.

Порівняно з традиційними способами підведення реагентів в очищувану воду такий спосіб має суттєві переваги.

Для визначення ефективності використання озону було проведено дослідження по обробленню стічної води дріжджевого заводу в ГКА за допомогою киснево-озонової суміші. Для порівняння окиснювання здійснювали в озонаторній колонці барботуванням оброблюваного середовища киснево-озоновою сумішшю, а також в ГКА, який використовували як засіб для введення газоподібного окиснювача в середовище.

Вміст озону в суміші становив 16 мг/л, а її витрати підтримували в діапазоні 4,0...4,4 л/хв. Ефективність оброблення оцінювали за т хімічною потребою в кисні (ХПК), забарвленістю води, вмістом непрореагуваного газу. Результати дослідів наведені в табл.3.

Встановлено, що для реалізації процесу окиснення забруднювачів в ГКА використання озону дозволяє підвищити ефективність очищення в 6...9 разів, скоротити час оброблення і загальну тривалість технологічного процесу.

Таблиця 3
Ефективність окиснення озonom забруднювачів стічної води

Параметр	Показник	Контрольовані параметри води		
		стічної	обробленої в колонці	обробленої в ГКА
ХПК	мг/л	825-850	285	155
Забарвленість	градус	625	80	80
Вміст непрореагуваного газу	мг/л	–	10	1,5
Час оброблення	хв	–	35	4,5

Для реалізації запропонованих технологій очищення авторами запропоновано установку для очищення (нейтралізації) реагентним методом від забруднювачів складу стічних вод різного походження (див. рис.), яка містить магістралі підведення 1 та відведення 7 стоків, ємкість з реагентом 4 і бак-нейтралізатор 2, в якому здійснюються відповідні хімічні реакції. Установка має циркуляційний контур із засмоктувальним 9 та напірним 6 трубопроводами, між якими встановлено відцентровий насос 8. В напірному трубопроводі 6 встановлено ГКА 3, робоча камера якого за допомогою трубопроводу 5 сполучена з ємкістю 4, що дозволяє підводити реагенти безпосередньо в зону кавітаційного оброблення технологічного середовища. Стічна вода надходить по магістралі підведення стоків 1 в бак-нейтралізатор 2. Для організації технологічного процесу вода з бака 2 викачується насосом 8 по засмоктуючій магістралі 9 і по напірному трубопроводу 6 подається в ГКА 3. При розрахованих гідродинамічних умовах в апараті 3 створюється і розвивається кавітація, що є нормальним режимом експлуатації ГКА, який



характеризується виникненням в апараті 3 вакуумної кавітаційної каверни, що одразу розпадається на велику кількість кавітаційних бульбашок. Завдяки конструктивним особливостям запропонованої конструкції ГКА 3, у вакуумну порожнину засмоктується (ежектуються) регульована кількість рідкого або газоподібного реагенту (вапняне молоко, розчин луг або кислот, озон тощо). Такі умови дозволяють добирати найбільш ефективні реагенти відповідно до виду забруднювачів певних стоків, що розширює технологічні можливості установки

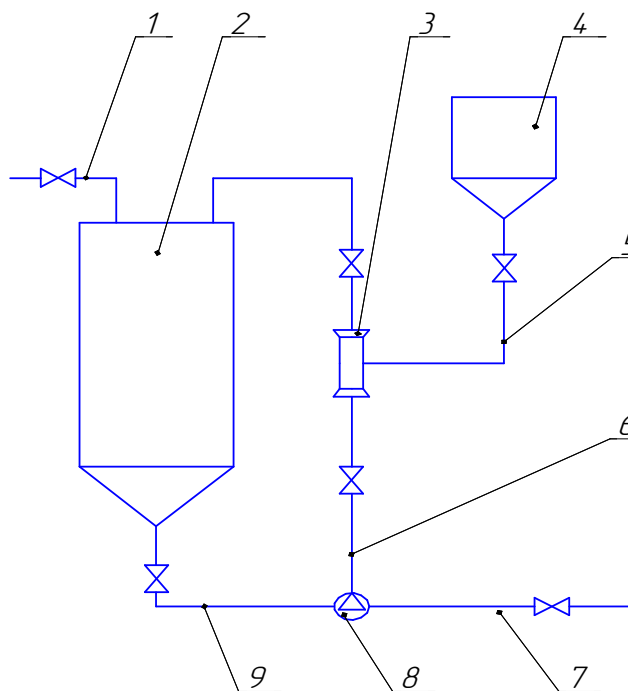


Рис. Установка для очищення стічної води: 1 – магістраль підведення; 2 – бак-нейтралізатор; 3 – ГКА; 4 – ємкість з реагентом; 5 – трубопровід підведення реакторів в ГКА; 6 – напірний трубопровід; 7 – магістраль відведення очищених стоків; 8 – насос; 9 – засмоктувальний трубопровід

Внаслідок захоплення кавітаційних бульбашок в апараті 3 відбувається інтенсивне перемішування реагенту з забрудненими стоками. Крім того, хвилі тиску, що супроводжують захоплення бульбашок, діючи на реагенти і оброблюване середовище, постійно оновлюють поверхню розподілу фаз, чим прискорюють реакції нейтралізації, максимально залучаючи до неї реагенти і компоненти забруднювачів води. Оновленню поверхні масообміну сприяє також постійне переміщення води по циркуляційному контуру. Такі умови сприяють зменшенню витрат реагентів для забезпечення реакцій нейтралізації і зменшенню забруднення обробленої ними води. Циркуляційний контур, яким забезпечена установка, дозволяє багаторазово пропускати очищену воду через змішувач, що сприяє повній нейтралізації забруднювачів. Оброблену воду відводять з установки по магістралі відведення 7 для подальшого використання.

Висновки. Як показали проведені дослідження використання гідродинамічного кавітаційного оброблення при реагентному очищенні стічних вод від токсичних забруднювачів дозволяє одержати високу якість, скоротити витрати реагентів, спростити типові технологічні схеми водоочислення.

Література

1. Федоткин И.М. Кавитационные аппараты и установки [Текст] / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – К.: Арктур-А, - 1998. – 134 с.
2. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция [Текст] / М.А. Маргулис. – М.: Химия. – 1986. – 286 с.
3. Пат.33454А UA МПК⁶ C02F1/48 Спосіб реагентного очищення природних і стічних вод [Текст] / Литвиненко О.А., Некоз О.І.; Заявник Український державний університет харчових технологій. - №99021050; Заявл. 23.02.1999; опубл. 15.02.2001, Бюл. № 1, 2001 р.