

Охрана окружающей среды

УДК 628.31

Яворський В.Т., докт. техн. наук, проф.,
Гнатишин Н.М., **Знак З.О.**, докт. техн. наук, проф.
Національний університет «Львівська політехніка», Львів
вул. Бандери, 12, 79013 Львів, Україна, e-mail: znak_zo@ukr.net

Безреагентне очищення стічних вод від натрію гіпохлориту у кавітаційних полях

Виконано комплекс досліджень з розкладу натрію гіпохлориту як компонента стічних вод за ізотермічних умов у кавітаційних полях, що виникають під дією акустичних коливань ультразвукового діапазону. Встановлено вплив початкової температури середовища та потужності ультразвукового випромінювання на головні кінетичні параметри процесу, його тривалість та питомі енергетичні витрати на розклад натрію гіпохлориту. Висловлено припущення, що під час кавітаційного розкладу натрію гіпохлориту утворюються сильні окисники, наприклад, озон. Показано, що розклад натрію гіпохлориту під дією ультразвукових коливань відбувається значно інтенсивніше, ніж у промисловому каталітичному процесі, питомі енерговитрати на розклад натрію гіпохлориту є суттєво меншими. *Бібл. 13, рис. 3, табл.2.*

Ключові слова: стічні води, натрію гіпохлорит, очищення, кавітація.

Вступ та постановка проблеми

Стічні води, що містять натрію гіпохлорит, утворюються у таких технологічних процесах: електрохімічне виробництво каустичної соди та хлору; одержання магнію електролізом розплаву магнію хлориду або карналіту; гідрометалургія дорогоцінних та кольорових металів, зокрема, золота; очищення вентиляційних газів від хлору розчинами лугів та ін. Наприклад, стічні води, що утворюються у виробництві каустичної соди та хлору на ВАТ «Карпатнафтохім», містять близько 40 г/дм³ натрію гіпохлориту, тому їх можна розглядати як рідкі відходи виробництва. Вони є некондиційними, тому повторному використанню у технологічних процесах не підлягають [1].

Натрію гіпохлорит належить до сильних окисників, яким притаманна дуже виражена дезінфікуюча дія [2, 3]. Тому скидання гіпо-

хлоритних стічних вод в очисні біологічні споруди, тим паче у доквілля не припустимо, бо може нанести значної шкоди екосистемам зазначених біоценозів або навіть спричинити їх глибоку деградацію. Отже, необхідне практично повне знешкодження стічних гіпохлоритних вод. Зараз зазначені стічні води знешкоджують внаслідок каталітичного розкладу NaOCl за температури 50 °С. Як каталізатори використовують Нікелю та Купруму сульфати. Оскільки стічні води є лужними (рН 11–12), то іони Нікелю та Купруму зв'язуються гідроксил-іонами з утворенням малорозчинних гідроксидів ($DP(Cu(OH)_2) = 2,2 \cdot 10^{-20}$; $DP(Ni(OH)_2) = 1,6 \cdot 10^{-14}$). Ці сполуки разом із знешкодженими стічними водами скидають у шламонакопичувач, тому вони втрачаються безповоротно.

При переробці нагрівають стічні води гострою водяною парою; тривалість процесу сягає

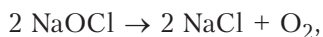
32 год. При цьому витрата теплової енергії на розклад натрію гіпохлориту є дуже високою: згідно з технологічним регламентом, вона становить понад $15 \cdot 10^9$ Дж/м³. Зараз, коли у країні відчувається гострий дефіцит енергоресурсів, а їх вартість є високою, то актуальним є розроблення альтернативних енерго- та ресурсоощадних технологій знешкодження шкідливих гіпохлоритних стічних вод.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Для знешкодження гіпохлоритів запропоновано низку методів, що відрізняються фізико-хімічними засадами. До них належать термічні некаталітичні, фотохімічні із застосуванням ультрафіолетового (УФ) випромінювання [4], каталітичні [5, 6], реагентні з використанням неорганічних та органічних сполук [7–9].

Термічне некаталітичне знешкодження зараз практично не використовують через дуже високу енергоємність процесів. Його можна застосовувати лише у разі наявності необхідних обсягів вторинних енергетичних ресурсів. Фотохімічний розклад натрію гіпохлориту лімітується глибиною проникнення УФ-променів у товщу стічних вод. Він відбувається лише у тонкому шарі рідини, що через наявність у стічних водах дисперсних частинок не перевищує декількох сантиметрів. Тому продуктивність процесу є низькою, а енергоємність високою. Окрім того, необхідне періодичне очищення джерел УФ-випромінювання, що ускладнює технологічний процес.

Зараз у промисловості переважно застосовують каталітичне очищення стічних вод із використанням сполук металів зі змінним ступенем окиснення. У порядку зменшення активності ці метали можна розмістити у ряді: $\text{I} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Mn}$ [5]. Оскільки гіпохлоритні стічні води мають лужну реакцію ($\text{pH} > 11$), то розклад NaOCl відбувається за кисневим механізмом:



тобто утворення шкідливих побічних продуктів, наприклад, хлору або хлоратів за нижчих значень pH не відбувається [10]. Але у разі, якщо гіпохлоритні стічні води є сильно лужними, то, як зазначалось вище, каталізатор втрачається. Для зменшення втрат каталізатора використовують не солі, а практично нерозчинні оксиди зазначених вище металів, з яких формують частинки каталізатора, що розташовують у реакторі у вигляді фільтруючого шару. При цьому процес розкладу натрію гіпохлориту відбува-

ється як гетерогенний та визначається площею поверхні контакту рідини з частинками каталізатора. Однак уникнути втрат каталізатора практично не можна, а наявність фільтруючого шару збільшує гідравлічний опір рухові рідкої фази. З урахуванням вартості сполук вказаних металів, а також значних втрат каталізатора під час очищення гіпохлоритних стічних вод найчастіше як каталізатори застосовують сполуки Нікелю та Купруму або їх суміші.

Реагентні методи потребують великих витрат реагентів. Вони, як правило, є товарними продуктами (карбамід [8], сполуки Сульфуру: натрію сульфат, сульфід, тіосульфат [7] тощо), що потребує додаткових витрат на їх придбання, а також вимагає точного дозування до стічних вод, щоб уникнути їх вторинного забруднення. Тому реагентні методи застосовують лише у разі низьких концентрацій гіпохлоритів або для доочищення стічних вод.

Зазначені й інші недоліки існуючих методів очищення рідких відходів від гіпохлоритів зумовлюють необхідність виконання досліджень, спрямованих на розроблення ефективної, екологічно та економічно обґрунтованої технології знешкодження гіпохлоритних стічних вод. Аналіз джерел інформації [11] й пошукові дослідження, виконані нами, дають підстави стверджувати, що значний практичний інтерес для знешкодження гіпохлоритних стічних вод становлять методи, що ґрунтуються на здійсненні процесів у кавітаційних полях.

Мета роботи — дослідження розкладу натрію гіпохлориту в кавітаційних полях, які генеруються під дією акустичних випромінювань УЗ-діапазону, а також оцінка енергетичної ефективності процесу.

Методика виконання роботи

Дослідження з розкладу натрію гіпохлориту в кавітаційних полях виконували на лабораторній установці, зображеній на рис.1. Кавітаційні поля генерували акустичними випромінюваннями ультразвукового діапазону за допомогою ультразвукового випромінювача (УЗВ) магнітострикційного типу. Потужність УЗВ змінювали дискретно у межах від 8,0 до 12,5 Вт; частота випромінювання — 22 кГц. Дослідження здійснювали в ізотермічних умовах за температури 20, 30, 40 °С. Початкова концентрація усереднених виробничих стічних вод дорівнювала 37 г/дм³ (0,503 моль/дм³).

Величину окисно-відновного потенціалу (ОВП) реакційного середовища впродовж процесу фіксували іонміром ЭВ-74, а величину pH — pH -метром И-160 з використанням

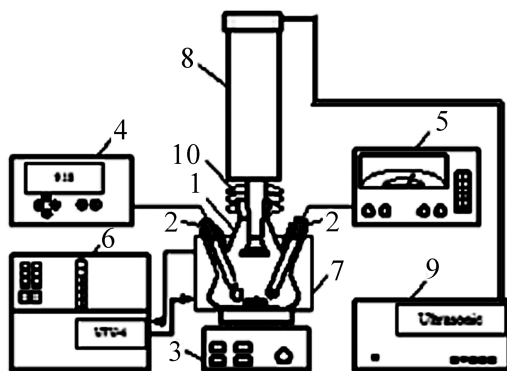


Рис. 1. Схема лабораторної установки для дослідження розкладу натрію гіпохлориту в кавітаційних полях: 1 – реакційна колба; 2 – електроди; 3 – магнітна мішалка; 4 – іонімір І-160; 5 – іонімір ЭВ-74; 6 – ультратермостат; 7 – термостатна ванна; 8 – УЗ-випромінювач; 9 – блок живлення; 10 – сильфон.

відповідних електродів вимірювання та порівняння. Концентрацію натрію гіпохлориту визначали за стандартним іодометричним методом.

У контрольному досліді вивчали каталітичний процес розкладу натрію гіпохлориту за умов, за яких знешкоджують стічні води на ЗАТ «Карпатнафтохім»: температура – 50–55 °С; каталізатори гіпохлоритних стічних вод, г/дм³: NiSO₄·7H₂O – 0,103; CuSO₄·5H₂O – 0,0825.

Енергетичну ефективність кавітаційного та каталітичного способів знешкодження гіпохлоритних стічних вод визначали за величиною питомої витрати енергії (Е), витраченої на розклад NaOCl, кДж/моль:

$$E = N \cdot \tau \cdot 3600 / (V \cdot C),$$

де N – потужність електронагрівача (у каталітичному процесі) або УЗ-випромінювача (у кавітаційному процесі), Вт; τ – тривалість процесу розкладу, год; V – об'єм стічної гіпохлоритної води, яку піддавали розкладу ($V = 1 \text{ дм}^3$); C – концентрація натрію гіпохлориту, моль/дм³.

Результати досліджень та їх обговорення

Тривалість контрольного досліді становила близько 20 год. Менша тривалість досліді, ніж промислового процесу, пояснюється значно кращими умовами теплопередачі та меншими втратами теплоти у довкілля (установка для знешкодження виробничих гіпохлоритних вод розташована на відкритому майданчику). Витрата енергії на розклад натрію гіпохлориту у контрольному досліді дорівнювала 623 кДж/дм³, або 1238 кДж/моль.

Розклад натрію гіпохлориту під дією УЗ-випромінювань в ізотермічних умовах за

температур, навіть нижчих, ніж у контрольному досліді, відбувається значно швидше. Залежність зміни концентрації натрію гіпохлориту від часу в контрольному досліді наведено на рис.2 (крива 1), у полі дії УЗ-випромінювань за температури 20, 30, 40 °С – криві 2–4, 5–7, 8–10 відповідно.

Як видно з рис.2, з часом зміна концентрації натрію гіпохлориту відбувається повільніше. Розклад натрію гіпохлориту під дією УЗ-випромінювань можна пояснити особливістю перебігу цього процесу за умови створення кавітаційного поля. Відомо, що випромінювання УЗ-діапазону спричиняють у водному середовищі явище кавітації з утворенням кавітаційних бульбашок. В області змикання кавітаційної бульбашки локальна температура може зростати до 1000 К та більше (за деякими даними, навіть до 10000 К) [12]. Саме локальне виділення великої кількості енергії й спричиняє дуже швидкий розклад гіпохлорит-іонів. За рахунок високої теплопровідності водного середовища та інтенсифікації дифузійних явищ теплова енергія дуже швидко дисипує в об'ємі середовища. Тому середньомасова температура середовища зростає повільно. Окрім того, у разі створення ізотермічних умов здійснення процесу теплота, що виділяється внаслідок кавітації, відводиться теплоносієм.

Область існування кавітаційного поля локалізована лише під магнітостриктором (рис.3). Тому лише саме у цій області за низької температури середовища й відсутності каталізаторів відбувається розклад NaOCl. У міру його витрати ймовірність надходження гіпохлорит-іонів в область кавітації зменшується. Відтак селективність дії енергії, що виділяється внаслідок цього явища, впродовж перебігу про-

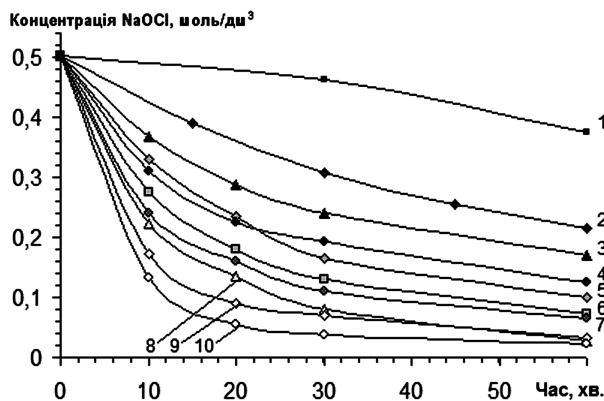


Рис.2. Залежність концентрації NaOCl від часу під час його розкладу за різних умов: 1 – каталітичний (50 °С; каталізатор – NiSO₄; CuSO₄); 2–10 – під дією УЗ-випромінювань. Потужність УЗ-випромінювань, Вт: 2, 5, 8 – 8,0; 3, 6, 9 – 10,2; 4, 7, 10 – 12,5. Температура, °С: 2–4 – 20; 5–7 – 30; 8–10 – 40.

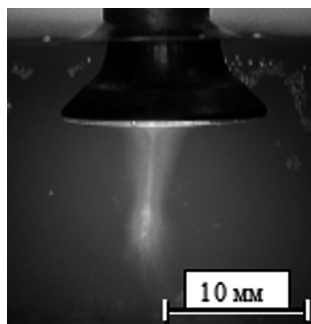


Рис.3. Фотографія області кавітації під магнітостриктором УЗ-випромінювача за потужності УЗ-випромінювання 10,2 Вт.

цесу зменшується: все менша її кількість витрачається на розклад натрію гіпохлориту, а дедалі більше трансформується на теплову.

На підставі залежностей концентрації NaOCl від часу методом графічного диференціювання Вант-Гоффа розраховано головні кінетичні параметри процесу, наведені у табл.1. З неї видно, що в усіх випадках (для термічного каталітичного розкладу та під дією УЗ-випромінювань) порядок реакції є близьким до 1. У лужному середовищі розклад натрію гіпохлориту відбувається за кисневим механізмом. Проміжним продуктом розкладу є атомарний Оксиген:



що має властивості радикала, оскільки володіє неспареним електроном. Порядок реакції, близький до 1, опосередковано підтверджує радикальний механізм процесу розкладу.

Залежність величини ОВП реакційної системи від часу є схожою на типову криву окисно-відновного титрування (рис.4), тобто характеризується наявністю стрибка потенціалу близько 400 мВ.

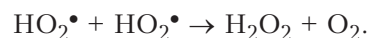
Таблиця 1. Кінетичні параметри процесу розкладу натрію гіпохлориту за різних умов

Умови досліджень		Кінетичні параметри процесу		
t, °C	потужність УЗ-випромінювача, Вт	швидкість початкова $\cdot 10^4$, моль/дм ³ ·с	константа швидкості $k \cdot 10^4$, с ⁻¹	порядок реакції за NaOCl
50	–	0,23	0,471	0,93
20	8,0	1,26	2,483	0,71
20	10,2	1,51	4,266	1,03
20	12,5	2,13	6,839	0,99
30	8,0	1,93	4,691	0,79
30	10,2	2,54	7,638	0,85
30	12,5	3,11	11,220	0,85
40	8,0	2,92	10,273	0,89
40	10,2	3,68	13,259	0,87
40	12,5	4,11	16,383	0,66

Однак практично відразу після початку дослідів величина ОВП на відміну від типового окисно-відновного титрування починає зростати. Максимальний приріст ОВП досягає 85 мВ приблизно через 2 год, концентрація натрію гіпохлориту не перевищує 0,01 моль/дм³ (рис.2, крива 10). Отже, у реакційному середовищі відбувається накопичення сполук з окисними властивостями, які є відносно стабільними у часі. Атомарний Оксиген характеризується дуже малим часом існування й швидко рекомбінує:



У кавітаційних полях можливе утворення гідрогену пероксиду за рахунок сонолізу води:



У лужному середовищі гідрогену пероксид має менш виражені окисні властивості: величина ОВП дорівнює 682 мВ, тоді як величина ОВП реакційного середовища досягає 726 мВ. Найімовірніше, збільшення ОВП реакційного середовища під час оброблення гіпохлоритних стічних вод у кавітаційних полях відбувається за рахунок утворення озону, ОВП якого у лужному середовищі дорівнює 1,27 В, за реакцією



де М – будь-яка молекула середовища, наприклад, води, яка відводить теплоту екзотермічної реакції синтезу озону від утвореної молекули.

Розчинність озону у водних середовищах є більшою від розчинності кисню майже у 10 разів, а період напіврозпаду за температури 40 °C становить близько 20 хв [13]. Тому,

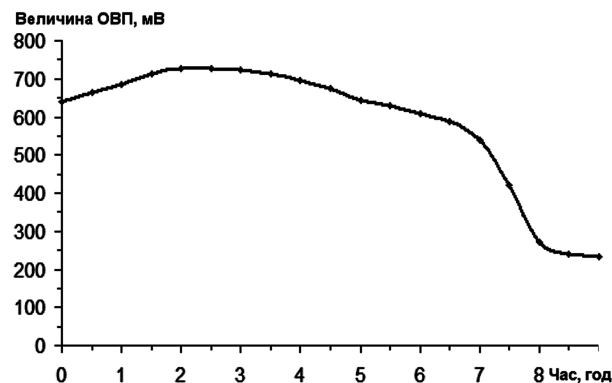


Рис. 4. Залежність середньої величини ОВП розчину NaOCl від часу при розкладі NaOCl під дією УЗ-випромінювання (температура 40 °C, потужність УЗ-випромінювача 12,5 Вт).

Таблиця 2. Характеристики процесу знешкодження гіпохлоритних стічних вод

Потужність УЗ-випромінювача, Вт	Тривалість процесу, год			Питомі енерговитрати на розклад NaOCl, кДж/дм ³ (кДж/моль)		
	20 °С	30 °С	40 °С	20 °С	30 °С	40 °С
8,0	18,3	15,0	13,5	527 (1048)	432 (859)	389 (773)
10,2	14,8	12,4	9,8	543 (1080)	455 (905)	360 (715)
12,5	12,8	10,6	7,9	576 (1145)	477 (948)	356 (707)

Примітка. У контрольному досліді (50 °С, каталізатор) – відповідно 20 °С та 623 (1238).

найімовірніше, саме він спричиняє підвищення ОВП системи впродовж деякого часу. Під час дії УЗ-випромінювання концентрація сполук-окисників з часом зменшується, що й спричиняє стрибкоподібне зменшення ОВП. Цей момент відповідає закінченню процесу знешкодження гіпохлоритних стічних вод.

Важливими показниками процесу знешкодження гіпохлоритних стічних вод є його тривалість та питома витрата енергії. На підставі аналізу залежностей зміни концентрації натрію гіпохлориту в часі встановлено, що підвищення потужності УЗ-випромінювача та збільшення температури середовища призводять до зменшення тривалості процесу внаслідок пришвидшення розкладу NaOCl порівняно з контрольним дослідом.

У табл.2 наведені значення тривалості процесу та питомої енергії, витраченої на повний розклад натрію гіпохлориту, за ізотермічних умов дослідів (температура 20, 30, 40 °С). Можна бачити, що за нижчих температур (20 та 30 °С) зі збільшенням потужності випромінювання питомі енерговитрати дещо зростають (щонайбільше на 6,3 %), за температури 40 °С вони зменшуються на 8,5 %.

Такі результати можна пояснити дією двох чинників. По-перше, збільшенням ефективності внесення енергії УЗ-випромінювання у реакційне середовище з підвищенням температури, тобто з інтенсифікацією явища кавітації. Зі збільшенням температури середовища парціальний тиск водяної пари зростає, тобто в об'ємі середовища виникають зародки парової фази. Отже, покращуються умови для збудження та розвитку явища кавітації, що зумовлює виділення більшої кількості енергії. При цьому розклад натрію гіпохлориту закономірно пришвидшується. По-друге, підвищення температури середовища дає змогу пришвидшити саме хімічну реакцію розкладу NaOCl.

За температур 20 та 30 °С питомі енерговитрати на розклад NaOCl дещо збільшуються із зростанням потужності УЗ-випромінювача. Найімовірніше, це можна пояснити швидшим розкладанням гіпохлорит-іонів в області існування кавітації зі збільшенням потужності УЗ-ви-

промінювача та, як наслідок, витрачанням частини енергії УЗ-випромінювання на соноліз молекул води. У цьому разі швидкість розкладу лімітується саме дифузією гіпохлорит-іонів з об'єму середовища в область існування кавітаційного поля. Як наслідок, витрата енергії на розклад натрію гіпохлориту зростає. За температури 40 °С збільшення потужності УЗ-випромінювача спричиняє певне зменшення питомої енергії на розклад натрію гіпохлориту. Це може бути зумовлене зменшенням в'язкості та густини водного середовища зі збільшенням температури середовища та, відповідно, пришвидшенням дифузії в кавітаційну область, зокрема, іонів гіпохлориту.

На підставі отриманих результатів сформульовано рекомендації для реалізації кавітаційного очищення стічних вод у промислових умовах. Оскільки температура гіпохлоритних стічних вод на виході із цеху каустичної соди та хлору коливається в межах 35–40 °С, то їх доцільно відразу піддавати кавітаційному обробленню для ефективного використання теплоти, акумульованої у цих водах. Варто відмітити, що зараз гіпохлоритні стічні води перепомпуюють на очисні споруди, де накопичують їх у збірній ємкості та лише після цього знешкоджують термічним каталітичним методом; однак при цьому температура стічних вод зменшується до температури доквілля.

Висновки

Здійснення процесу знешкодження гіпохлоритних стічних вод із застосуванням УЗ-випромінювань, що збуджують кавітаційні явища, дає змогу порівняно з каталітичним розкладом зменшити тривалість процесу та питомі енергетичні витрати на здійснення цього процесу.

Збільшення початкової температури стічних вод та потужності УЗ-випромінювача забезпечують збільшення константи швидкості процесу та зменшення тривалості розкладу.

Розклад натрію гіпохлориту у кавітаційних полях відбувається за радикальним механізмом з утворенням проміжних сполук, що належать до сильних окисників (наприклад, озону). На

підставі отриманих результатів можна спрогнозувати, що за наявності у реакційному середовищі, окрім натрія гіпохлориту, сполук з відновними властивостями у кавітаційних полях відбуватиметься їх інтенсивне окиснення внаслідок взаємодії з низкою окисників, присутніх у системі: гіпохлорит-іоном, атомарним Оксигеном, озоном, гідрогену пероксидом тощо. Тобто гіпохлоритні стічні води можна знешкоджувати у кавітаційних полях сумісно зі стічними водами, що містять речовини-забруднювачі відновного характеру.

Список літератури

1. Знак З.О., Гнатишин Н.М. Інтенсифікація термічного розкладу натрію та кальцію гіпохлоритів // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2010. — № 6/6 (48). — С. 40–43.
2. Запольський А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. — Київ : Лібра, 2000. — 552 с.
3. Frank A. Miller. Disinfection with Liquid Sodium Hypochlorite: Principles, Methods, and Lessons Learned // Florida Water Resources Journal. — Apr. 2012. — P. 4–8.
4. Yangang Feng, Daniel W. Smith, Jams R. Bolton. Photolysis of aqueous free chlorine species (HOCl and OCl^-) with 254 nm ultraviolet light // J. Environ. Eng. — 2007. — № 6. — P. 277–284.
5. Lister M.W. Decomposition of sodium hypochlorite; the catalyzed reaction // Canadian Journal of Chemistry. — 2011. — Vol. 4, № 34. — P. 479–488.
6. Kwang-Wook Kim, Eil-Hee Lee, Dong-Yong Chung, Jei-Kwon Moon, Hyun-Soo Shin, Jung-Sik Kim, Dong-Woo Shin. Manufacture characteristics of metal oxide-hydroxides for the catalytic decomposition of a sodium hypochlorite solution // Chemical Engineering Journal. — 2012. — № 8. — P. 200–202.
7. Moorhouse J. Modern Chlor-Alkali Technology. Chichester : MPG Books Ltd., 2001.
8. Гладикова Л.А., Тетерин В.В., Кирьянов С.В., Бездоля И.Н. Применение карбамида для очистки хлорсодержащих газов // Доклады V Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов», Харьков, Украина, 2–3 апр. 2008 г. — Электронный вариант материалов конференции. 2008.
9. Бикбулатов И.Х. Безотходное производство хлоргидринов. — М. : Химия, 2000. — 167 с.
10. Колесников И. В. Устойчивость реальных растворов гипохлорита натрия // Хим. пром-сть. — 1991. — № 6. — С. 361–365.
11. Кардашев Т.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии. — М. : Химия, 1991. — 208 с.
12. Маргулис М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция. — М. : Химия, 1986. — 288 с.
13. Отчич О. Біологічні аспекти впливу озону на кров // Вісник Львівського університету. Серія біологічна. — 2012. — Вип. 59. — С. 23–36.

Надійшла до редакції 02.02.15

Яворский В.Т., докт. техн. наук, проф.,

Гнатишин Н.М., Знак З.О., докт. техн. наук, проф.

Национальный университет «Львовская политехника», Львов, Украина
ул. Бандеры, 12, 79013 Львов, Украина, e-mail: znak_zo@ukr.net

Безреагентная очистка сточных вод от гипохлорита натрия в кавитационных полях

Выполнен комплекс исследований по разложению гипохлорита натрия как компонента сточных вод при изотермических условиях в кавитационных полях, возникающих под действием акустических колебаний ультразвукового диапазона. Установлено влияние начальной температуры среды и мощности ультразвукового излучения на основные кинетические параметры процесса, его длительность и удельные энергетические затраты на разложение гипохлорита натрия. Сделано предположение, что во время кавитационного разложения гипохлорита натрия образуются сильные окислители, например, озон. Показано, что разложение гипохлорита натрия под воздействием ультразвуковых колебаний происходит значительно интенсивнее, чем в промышленном каталитическом процессе, а удельные энергетические затраты на разложение гипохлорита натрия существенно ниже. *Библ. 13, рис. 3, табл. 2.*

Ключевые слова: сточные воды, гипохлорит натрия, очистка, кавитация.

Javorskij V.T., *Dortor of Technical Sciences, Professor*, **Gnatyshyn N.M.**,
Znak Z.O., *Dortor of Technical Sciences, Professor*
National University «Lviv Polytechnika», Lvov, Ukraine
 12, Bandery Str., 79013, Lviv, Ukraine, e-mail:znak_zo@ukr.net

Reagentless Cleaning of Waste Water from Sodium Hypochlorite with Cavitation Fields

The complex of studies on the decomposition of sodium hypochlorite as a component of wastewater under isothermal conditions in the cavitation fields produced under the influence of acoustic vibrations ultrasound range is made. The influence of the initial temperature of the environment and the power of ultrasonic radiation on the main kinetic parameters of the process, its duration and specific energy consumption for the decomposition of sodium hypochlorite are defined. We suggest that during cavitation decomposition sodium hypochlorite strong oxidants such as ozone are produced. It is shown that the decomposition of sodium hypochlorite under the influence of ultrasonic vibrations is much more intense than in industrial catalytic processes, and specific energy consumption for the decomposition of sodium hypochlorite is much lower. *Bibl. 13, Fig. 3, Table 2.*

Key words: wastewater, sodium hypochlorite, cleaning, cavitation.

References

1. Znak Z.O., Gnatyshyn N.M. [Intensification of thermal decomposition of sodium and calcium hypochlorite]. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij*, 2010, 48 (6/6), pp. 40–43. (Ukr.)
2. Zapol's'kyj A.K. Fizyko-himichni osnovy tehnologii' ochyshhennja stichnyh vod. Kiev : Libra, 2000, 552 p. (Ukr.)
3. Frank A. Miller. Disinfection with Liquid Sodium Hypochlorite: Principles, Methods, and Lessons Learned, *Florida Water Resources Journal*, April, 2012, p. 4–8.
4. Yangang Feng, Daniel W. Smith, Jams R. Bolton. Photolysis of aqueous free chlorine species (HOCl and OCl⁻) with 254 nm ultraviolet light, *J. Environ. Eng.*, 2007, (6), pp. 277–284.
5. Lister M.W. Decomposition of sodium hypochlorite; the catalyzed reaction, *Canadian Journal of Chemistry*, 2011, 34 (4), pp. 479–488.
6. Kwang-Wook Kim, Eil-Hee Lee, Dong-Yong Chung, Jei-Kwon Moon, Hyun-Soo Shin, Jung-Sik Kim, Dong-Woo Shin. Manufacture characteristics of metal oxide-hydroxides for the catalytic decomposition of a sodium hypochlorite solution, *Chemical Engineering Journal*, 2012, (8), pp. 200–202.
7. Moorhouse J. Modern Chlor-Alkali Technology. Chichester : MPG Books Ltd., 2001.
8. Gladikova L.A., Teterin V.V., Kir'janov S.V., Bezdolja I.N. [Application of urea to clean gases from chlorine], *Texts from the 5th International Conference «Cooperation for Waste Issues»*, Kharkov, Ukraine, 2–3 Apr. 2008. — The electronic version of the conference materials, 2008. (Rus.)
9. Bikbulatov I.H. [Waste-free production of chlorohydrins]. Moscow : Himija, 2000, 167 p. (Rus.)
10. Kolesnikov I.V. [Stability of real solutions of sodium hypochlorite], *Himicheskaja promyshlennost*, 1991, (6), pp. 361–365. (Rus.)
11. Kardashev T.A. [Physical methods of intensification of the processes of chemical technology]. Moscow : Himija, 1991, 208 p. (Rus.)
12. Margulis M.A. Zvukohimicheskie reaktsii i sonoluminescenciya. Moscow : Himiya, 1986, 288 p. (Rus.)
13. Otchych O. [Biological aspects of influence of ozone on blood], *Visnyk L'vivs'kogo universitetu. Serija biologichna*, 2012, iss. 59, pp. 23–36. (Ukr.)

Received February 2, 2015