

онного відділення ухудшаться. Використання центрифуг, які мають коефіцієнт розділення більше 1200, дозволить виключити подачу фугата на повторну флотацию.

5. Обезвоживання концентратів флотации, які містять не більше 40 % зерен класу менше 0,074 мм, це-

лесообразно проводити за допомогою вакуум фільтрів. Обезвоживання концентратів флотации, які містять більше 40 % зерен класу менше 0,074 мм, цілком доцільно проводити за допомогою осадительних центрифуг з коефіцієнтом розділення не нижче 1200.

Література

1. Справочник по обогащению углей. [Текст]: справочник / под ред. И. С. Благова, А. М. Коткина, Л. С. Зарубина; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1981. – 615 с.
2. Борц, М. А. Обезвоживание хвостов флотации углеобогажительных фабрик [Текст] / М. А. Борц, Ю. П. Гупало. – М.: Недра, 1972. – 302 с.
3. Гаркушин, Ю. К. Современное состояние теории механического обезвоживания и методов его интенсификации [Текст] / Ю. К. Гаркушин // Збагачення корисних копалин. Наук. техн. зб. – 2001. – Вип. 12 (53). – С. 39–47.
4. Панфилов, В. К. Обогащение антрацитового шлама на центрифугах [Текст] / В. К. Панфилов, А. Ф. Мацак, Г. П. Трошин // Уголь Украины. – 2003. № 5 (557). – С. 35–42.
5. Мацак, А. Ф. Обогащение угольного шлама на осадительных центрифугах [Текст] / А. Ф. Мацак, А. В. Мишанина, А. А. Шкоп // Горная промышленность. – 2007. – № 2(71). – С. 42–48.
6. Хайдакин, В. И. Применение центробежных аппаратов в угольной промышленности [Текст] / В. И. Хайдакин, В. Н. Корнеева, А. Г. Трошин // Збагачення корисних копалин. Наук. техн. зб. – 2003. – Вип. 17(58). – С. 85–89.
7. Патракеев, В. Н. Переработка техногенного сырья на ЦОФ «Червоноградская» [Текст] / В. Н. Патракеев, И. Д. Пейчев, И. И. Уваров // Збагачення корисних копалин. Наук. техн. зб. – 2003. – Вип. 17(58). – С. 96–100.
8. Бочков, Ю. Н. Оценка эффективности механических способов обезвоживания угольной мелочи [Текст] / Ю. Н. Бочков, Л. С. Зарубин. – Теория и практика обезвоживания угольной мелочи. МУН. – М.: Наука, 1966 – С. 5–19.
9. Борц, М. А. Шнековые осадительные центрифуги для угольной промышленности. [Текст] / Ю. Н. Бочков, Л. С. Зарубин. – М.: Недра, 1970. – 278 с.
10. Барский, М. Д. Оптимизация процессов разделения зернистых материалов [Текст] / М. Д. Барский. – М.: Недра, 1978. – 254 с.

Досліджено взаємодію натрію гіпохлориту зі сполуками олефінового ряду C₄–C₇, що містяться у стічних водах олефінового виробництва. Встановлено вплив температури і потужності ультразвукового випромінювання на тривалість процесу та питому витрату енергії. Розраховано головні кінетичні параметри процесу. Висловлено припущення про перебіг процесу за радикальним механізмом

Ключові слова: натрію гіпохлорит, олефіни, стічні води, ультразвукове випромінювання, кавітація, деструкція, окиснення

Исследовано взаимодействие гипохлорита натрия с соединениями олефинового ряда C₄–C₇, содержащимися в сточных водах олефинового производства. Установлено влияние температуры и мощности ультразвукового излучения на длительность процесса и удельный расход энергии. Рассчитаны основные кинетические параметры процесса. Высказано предположение о радикальном механизме протекания процесса

Ключевые слова: гипохлорит натрия, олефины, сточные воды, ультразвуковое излучение, кавитация, деструкция, окисление

УДК 628.31: 66.084
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.38783

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ НАТРІЮ ГІПОХЛОРИТУ З ОЛЕФІНАМИ У КАВІТАЦІЙНИХ ПОЛЯХ

З. О. Знак

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: znak_zo@ukr.net

Н. М. Гнатишин

Здобувач*

E-mail: kyzmnm@gmail.com

*Кафедра хімії і технології неорганічних речовин
Національний університет «Львівська політехніка»
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, Україна, 79013

1. Вступ

Некондиційні розчини натрію гіпохлориту утворюються у різнопланових технологічних процесах,

зокрема під час електрохімічного виробництва каустичної соди і хлору, одержання магнеїю та хлору електrolізом розплаву карналіту, у гідрометалургійних технологіях дорогоцінних і кольорових металів тощо.

Наприклад, на ВАТ «Карпатнафтохім» обсяги стічних гіпохлоритних вод становлять 200 м^3 на добу, а концентрація натрію гіпохлориту сягає 40 г/дм^3 за рН в межах 12–14 [1].

Натрію гіпохлорит навіть у лужному середовищі належить до сильних окисників, електродний потенціал якого за рН понад 10 дорівнює 0,906 В. Завдяки цьому натрію гіпохлориту притаманна яскраво виражена бактерицидна дія [2, 3]. Тому скидання неочищених гіпохлоритних стічних вод у довкілля не допускається, оскільки це може нанести значної шкоди екосистемам водних біоценозів або навіть спричинити їх глибоку деградацію. Відтак необхідне практично повне знешкодження натрію гіпохлориту перед скиданням відповідних стічних вод у водойми.

2. Аналіз джерел інформації і постановка проблеми

Для очищення стічних вод від гіпохлоритів запропоновано низку методів, які ґрунтуються на різних фізико-хімічних засадах. Їх можна розділити на такі групи: термічні некаталітичні, каталітичні [4–6], реагентні [7, 8], фотохімічні із застосуванням ультрафіолетового (УФ) випромінювання [9].

Термічне некаталітичне знешкодження натрію гіпохлориту є найпростішим у технологічному оформленні процесу, але зараз його практично не використовують через надмірно високу енергоємність. Тому його можна застосовувати лише у разі наявності необхідних обсягів вторинних енергетичних ресурсів. Окрім того, процес розкладу є порівняно повільним, що зумовлює значну тривалість процесу й відповідно використання громіздкого технологічного обладнання.

Найчастіше у промисловості здійснюють каталітичне очищення стічних вод від натрію гіпохлориту. Як каталізатори використовують сполуки металів зі змінним ступенем окиснення. Каталітична активність цих металів зменшується у такому порядку: $\text{Ir} > \text{Co} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Fe} > \text{Mn}$ [4, 5]. Оскільки гіпохлоритні стічні води мають лужну реакцію ($\text{pH} > 10$), то NaOCl розкладається за кисневим механізмом, тобто з виділенням молекулярного кисню, а утворення шкідливих побічних продуктів, наприклад, хлору або хлоратів, що характерно в області нижчих значень рН, не відбувається [10]. Але разом з тим, каталізатор безповоротно втрачається у вигляді малорозчинних гідроксидів. Для зменшення втрат каталізатора використовують не солі, а малорозчинні оксиди металів, з яких формують частинки каталізатора. Їх розташовують у реакторі у вигляді фільтруючого шару. У цьому разі розклад натрію гіпохлориту відбувається як гетерогенний і 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 врахуванням вартості сполук вказаних металів, а також значних втрат каталізатора під час очищення гіпохлоритних стічних вод найчастіше як каталізатори застосовують сполуки Ніколу та Купруму або їх суміші, а процес здійснюють за температури близько 50°C . Розклад натрію гіпохлориту за вказаної вище концентрації відбувається значно швидше, ніж терміч-

ний некаталітичний, але його тривалість залишається значною – до 32 год.

Реагентні методи потребують великих витрат реагентів. Вони, як правило, є товарними продуктами (карбамід, сполуки Сульфуру – натрію сульфід, сульфід, тіосульфат [9] 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.

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.

Зазначені й інші недоліки існуючих методів очищення рідких відходів від гіпохлоритів зумовлюють необхідність виконання досліджень, спрямованих на розроблення ефективної, екологічно та економічно обґрунтованої енерго-, ресурсозберігаючої 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 представляють методи, що ґрунтуються на здійсненні процесів у кавітаційних полях. Разом з тим, моніторингом усього комплексу виробництв, суміжних із виробництвом кальцинованої соди і хлору, де утворюються гіпохлоритні стічні води, виявлено, що у технології сполук олефінового ряду формуються відповідні стічні води. Очищення цих вод зараз здійснюють на комунальних очисних спорудах. Однак ефективність очищення є порівняно невисокою, оскільки величина біологічного споживання кисню (БСК) становить всього близько 50 % від величини хімічного споживання кисню (ХСК).

Отже, наявність стічних вод, що містять сполуки олефінового ряду, яким притаманні відновні властивості, й перспективність застосування кавітаційних технологій дали змогу вибрати напрям досліджень зі знешкодження гіпохлоритних стічних вод.

3. Мета і задачі досліджень

Мета дослідження – дослідити взаємодію натрію гіпохлориту зі сполуками олефінового ряду в кавітаційних полях, які генеруються під дією акустичних випромінювань ультразвукового (УЗ) діапазону, провести порівняльну оцінку енергетичної ефективності процесу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- дослідити процес взаємодії натрію гіпохлориту зі сполуками олефінового ряду як компонентами відповідних стічних вод за різних температур й потужностей УЗ-випромінювання;
- встановити головні кінетичні параметри процесу;

– визначити питомі енергетичні витрати на розклад натрію гіпохлориту.

4. Матеріали, опис лабораторної установки і методи дослідження впливу потужності УЗ-випромінювання та температури на кінетичні параметри взаємодії натрію гіпохлориту з олефінами, тривалість процесу та питомі енергетичні витрати на перетворення NaOCl

Дослідження виконували із використанням розчину натрію гіпохлориту з рН 12,5 і концентрацією 37 г/дм³ (0,503 моль/дм³), що відповідає величині рН і концентрації усереднених промислових стічних вод, а також усереднені стічні води олефінового виробництва. Сумарний вміст сполук олефінового ряду (C₄–C₇) у стічних водах виражали через величину ХСК, яка дорівнювала 6500 мгО₂/дм³.

Дослідження взаємодії натрію гіпохлориту зі сполуками олефінового ряду в кавітаційних полях виконували на установці, зображеній на рис. 1. Кавітаційні поля генерували акустичними випромінюваннями ультразвукового діапазону за допомогою ультразвукового випромінювача (УЗВ) магнітострикційного типу «Ultrasonic Disintegrator UD-20». Потужність УЗВ змінювали дискретно у межах від 8,0 до 12,5 Вт; частота випромінювання – 22 кГц; магнітостриктор виготовлений із сталі 18ХН9Т. Дослідження здійснювали за ізотермічних умов за температури 20, 30 і 40 °С. Для уникнення поглинання реакційним середовищем СО₂ із повітря реакційна колба була герметизована, зокрема із використанням сільфону 10.

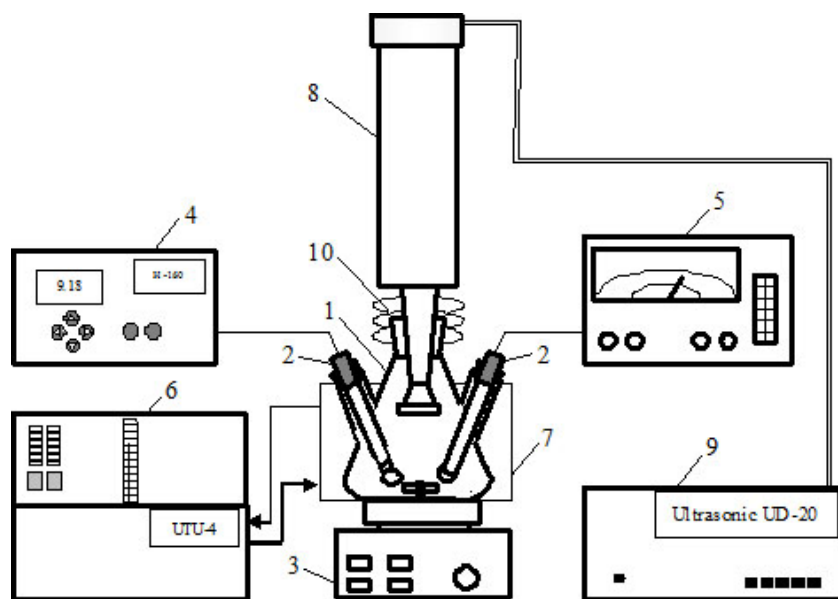
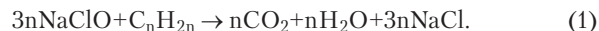


Рис. 1. Схема лабораторної установки для дослідження взаємодії натрію гіпохлориту з олефінами у кавітаційних полях: 1 – реакційна колба; 2 – електроди; 3 – магнітна мішалка; 4 – іонімір И-160; 5 – іонімір ЭВ-74; 6 – ультратермостат; 7 – термостатна ванна; 8 – УЗ-випромінювач; 9 – блок живлення; 10 –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

Дослідження проводили за 20 % надлишку органічних сполук щодо натрію гіпохлориту відповідно до реакції:



Тобто співвідношення величини ХСК до вмісту Оксигену, перерахованого на молекулярний кисень, у натрію гіпохлориті дорівнювало 1,2.

Впродовж перебігу процесу іоніміром ЭВ-74 визначали величину окисно-відновного потенціалу (ОВП) реакційного середовища, а величину рН – іоніміром И-160 з використанням відповідних електродів вимірювання та порівняння. Періодично відбирали проби реакційного середовища на визначення вмісту натрію гіпохлориту та органічних сполук. Концентрацію натрію гіпохлориту визначали стандартним іодометричним методом за МВВ (методика виконання вимірювань) №296-95, а величину ХСК – за ДСТУ ISO 6060: 2003. Вміст СО₂ у реакційному середовищі визначали після закінчення процесу вольомеретричним методом: вимірювали об’єм СО₂, який витісняється із проби реакційного середовища 10 % розчином сульфатної кислоти.

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

Загальну тривалість кожного із процесів до повного перетворення натрію гіпохлориту визначали аналітично (на підставі аналізу розчину на вміст NaOCl) і потенціометрично (до досягнення сталого значення ОВП).

Регресивний аналіз отриманих експериментальних залежностей виконували із застосуванням стандартних програм Microsoft Office Excel 2003. На його підставі визначали величини достовірності апроксимації (R²).

5. Результати дослідження взаємодії натрію гіпохлориту зі сполуками олефінового ряду у кавітаційних полях за ізотермічних умов

Залежності концентрації натрію гіпохлориту (С(NaOCl)) у реакційних середовищах від часу за ізотермічних умов (за температур 293, 303 і 313 К) та потужності УЗВ 8,0 і 12,5 Вт наведено на рис. 2–4.

Величини достовірності апроксимації (R²) експериментальних даних, наведених на рис. 2–4, які є не меншими 0,993 свідчать про високу достовірність отриманих результатів.

На підставі отриманих результатів залежності концентрації NaOCl у реакційному середовищі від часу розраховано основні кінетичні параметри процесу взаємодії натрію гіпохлориту з олефінами за різних умов (табл. 1), величину температурного коефіцієнта (табл. 2) та енергії активації процесу.

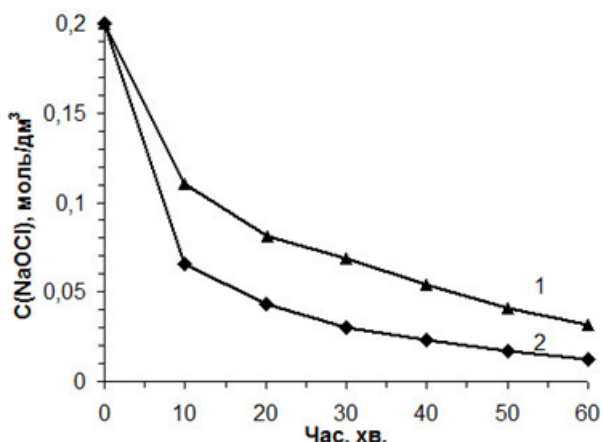


Рис. 2. Залежність концентрації NaOCl у реакційному середовищі від часу за температури 293 К; потужність УЗ-випромінювання, Вт: 1 – 8,0; 2 – 12,5

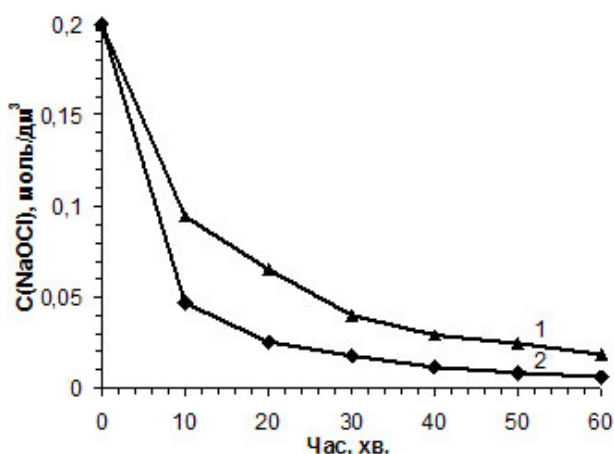


Рис. 3. Залежність концентрації NaOCl у реакційному середовищі від часу за температури 303 К; потужність УЗ-випромінювання, Вт: 1 – 8,0; 2 – 12,5

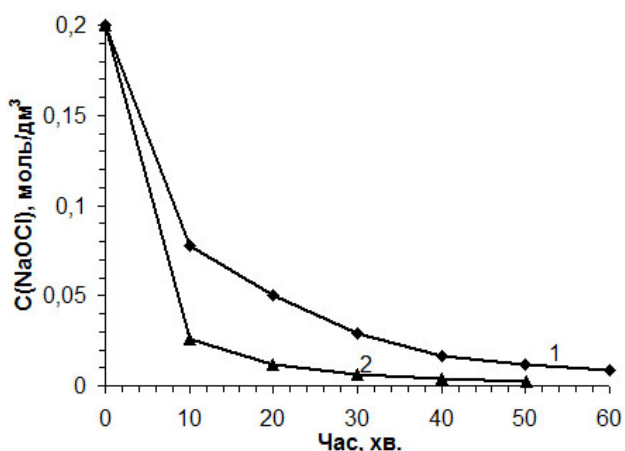


Рис. 4. Залежність концентрації NaOCl у реакційному середовищі від часу за температури 313 К; потужність УЗ-випромінювання, Вт: 1 – 8,0; 2 – 12,5

Середні значення енергії активації взаємодії натрію гіпохлориту з олефінами C₄–C₇ за потужності

УЗ-випромінювання 8,0 і 12,5 Вт дорівнюють відповідно 27,62 і 21,84 кДж/моль.

Значення тривалості процесу до повного витрачання натрію гіпохлориту та відповідні значення питомої енергії, витраченої на перетворення NaOCl наведено у табл. 3.

Таблиця 1

Значення кінетичних параметрів процесу взаємодії натрію гіпохлориту з олефінами (C₄–C₇)

№ з/п	Умови досліджень		Кінетичні параметри процесу	
	Температура, К	Потужність УЗВ, Вт	Константа швидкості, $k \times 10^3, c^{-1}$	Порядок реакції
1	293	8,0	1,58	1,16
2		12,5	2,35	1,34
3	303	8,0	3,03	1,20
4		12,5	4,17	0,91
5	313	8,0	3,32	1,09
6		12,5	4,97	0,78

Таблиця 2

Значення температурного коефіцієнта для різних температурних діапазонів за різної потужності УЗ-випромінювача

Потужність УЗВ, Вт	Значення температурного коефіцієнта	
	$\gamma_1 = k_{303}/k_{293}$	$\gamma_1 = k_{313}/k_{303}$
8,0	1,92	1,10
12,5	1,77	1,19

Таблиця 3

Значення розрахункового часу та питомої енергії для повного витрачання натрію гіпохлориту під час взаємодії з олефінами

№ з/п	Температура, К	Тривалість розкладу, год.		Питома енергія, кДж/моль	
		Потужність УЗВ, Вт		Потужність УЗВ, Вт	
		8,0	12,5	8,0	12,5
1	293	4,1	2,6	619	540
2	303	3,2	1,9	481	427
3	313	2,6	1,6	374	360
4	323	20,0*		623*	

Примітка: * – результати, одержані у контрольному досліді (термічний каталітичний розклад натрію гіпохлориту)

Значення ХСК реакційного середовища, визначене після закінчення дослідів, тобто за практично повного витрачання натрію гіпохлориту, в усіх випадках коливається в межах 40–80 мгО₂/дм³. Практично повне окиснення органічних сполук до кінцевого стабільного продукту (карбону(IV) оксиду) відповідно до рівняння (1) підтверджується даними аналізу реакційного середовища після закінчення процесу на вміст СО₂. Вміст СО₂ практично відповідав розрахунковому (відносна похибка не перевищувала 8 %).

6. Обговорення результатів дослідження взаємодії натрію гіпохлориту зі сполуками олефінового ряду

Збільшення інтенсивності зміни концентрації NaOCl (рис. 2–4) та зростання константи швидкості процесу взаємодії натрію гіпохлориту з олефіновими сполуками як зі збільшенням температури, так і потужності УЗ-випромінювання (табл. 1) свідчить про збільшення ефективності використання енергії, внесеної у систему акустичними коливаннями, на перетворення натрію гіпохлориту. Це можна пояснити тим, що зі збільшенням потужності УЗ-випромінювання область існування кавітаційного поля розширюється (рис. 5, а, б).

У кавітаційному полі виникають, розвиваються й колапсують кавітаційні бульбашки. Під час колапсу (змикання) кавітаційної бульбашки виділяється значна кількість енергії, внаслідок чого температура у цій зоні зростає до значень понад 1000 К. Зі збільшенням просторової області існування кавітаційного поля зростає ймовірність потрапляння гіпохлорит-іонів у зону колапсу кавітаційної бульбашки, а, отже, зростає ймовірність їх розкладу. Тому процес, що відбувається у рідкофазному однорідному середовищі, тобто є гомогенним, лімітується дифузією гіпохлорит-іонів у зону кавітації. Отже, цей процес відбувається за закономірностями гетерогенних процесів, тобто відбувається як квазігетерогенний.

Такий висновок підтверджується залежністю значень температурного коефіцієнта Вант-Гоффа (табл. 2) від температури. Зі збільшенням температури його величина зменшується аж до значень 1,1 і 1,19, відповідно за потужності УЗВ 8,0 і 12,5 Вт. Ці значення є характерними для дифузійної області перебігу типового гетерогенного процесу. Значення порядку реакції (табл. 1) та енергії активації (табл. 2) також свідчать про зміщення процесу в дифузійну область.

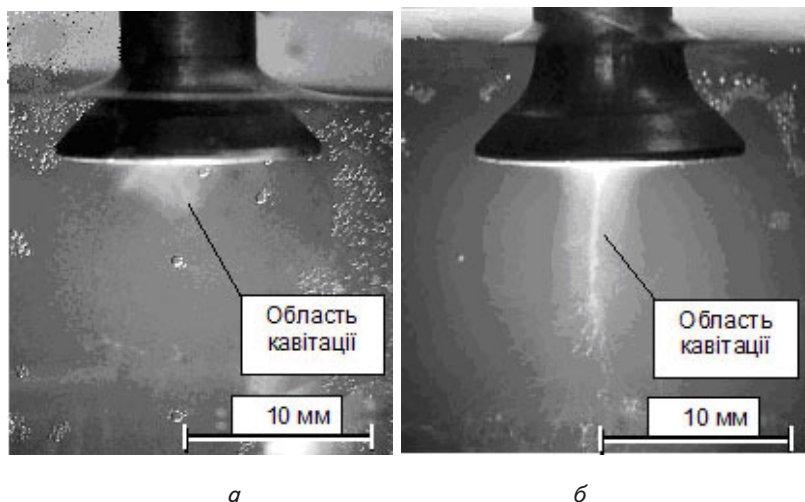


Рис. 5. Зображення області кавітації під магнітостриктором за потужності УЗВ, Вт: а – 8,0; б – 12,5

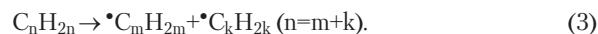
Збільшення потужності УЗВ та температури середовища однозначно приводять до зменшення тривалості процесу взаємодії натрію гіпохлориту зі сполуками

олефінового ряду та питомої витрати енергії на перетворення натрію гіпохлориту (табл. 3). Варто відмітити, що тривалість процесу та питомі енерговитрати на перетворення NaOCl є суттєво меншими, ніж у контрольному досліді, проведеному за умов, що відповідають промисловим. При цьому, контрольний дослід тривав усього близько 20 год., тоді як у промислових умовах процес відбувається впродовж 32 год. Значне зменшення тривалості контрольного досліді, порівняно із промисловим процесом, пояснюється істотно меншими втратами теплоти у довкілля.

Різке збільшення ефективності перетворення натрію гіпохлориту в кавітаційних полях за присутності органічних сполук, порівняно із каталітичним термічним розкладом, можна пояснити радикальним характером процесу. У кавітаційному полі відбувається розклад гіпохлорит-іонів ($E_{Cl-O}=205$ кДж/моль) за кисневим механізмом з виділенням атомарного Оксигену



який під час взаємодії з органічними сполуками спричиняє їх окисну деструкцію з утворенням фрагментів органічних сполук у вигляді радикалів [12]. Частково органічні сполуки олефінового ряду ($E_{C-C}=611$ кДж/моль) можуть руйнуватись внаслідок кавітаційної деструкції



Під час взаємодії атомарного Оксигену, що володіє неспареним електроном, тобто, за суттю, є радикалом, з органічними фрагментами радикальної природи відбувається швидке їх окиснення до стабільних кінцевих продуктів



Глибоке окиснення органічних сполук до CO₂ підтверджено, як відмічено вище, аналізом реакційного середовища на ХСК та вміст CO₂.

7. Висновки

Виконаними дослідженнями взаємодії натрію гіпохлориту зі сполуками олефінового ряду C₄–C₇, які є компонентами стічних вод олефінового виробництва, встановлено, що збільшення як температури, так і потужності ультразвукового випромінювання, спричиняють зростання швидкості процесу внаслідок його перебігу за радикальним механізмом; зокрема органічні радикали виникають за рахунок окисної та кавітаційної деструкції олефінів. Встановлені кінетичні параметри процесу, зокрема, порядок реакції за натрію гіпохлоритом, що наближується до одиниці, зменшення значення температурного коефіцієнта та енергії активації зі збільшенням температури

ри свідчать, що взаємодія NaOCl з олефінами у кавітаційних полях відбувається як квазігетерогенний процес. Здійснення процесу в кавітаційних полях дає змогу зменшити тривалість процесу та питомі енергетичні витрати на розклад натрію гіпохлориту: що вища потужність ультразвукового випромінювання

та температура, то менші значення вказаних показників процесу.

Отримані результати досліджень можуть слугувати підставою для розроблення ресурсо- та енергоощадної технології комплексного знешкодження гіпохлоритних та олефінових стічних вод у кавітаційних полях.

Література

1. Знак, З. О. Інтенсифікація термічного розкладу натрію та кальцію гіпохлоритів [Текст] / З. О. Знак, Н. М. Гнатишин // Восточно-Европейський журнал передових технологій. – 2010. – Т. 6, № 6 (48). – С. 40–43. – Режим доступу: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/3345/3146>
2. Запольський, А. К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод [Текст] : підручник / А. К. Запольський, Н. А. Мішкова-Клименко, І. М. Астрелін та ін.; під заг. ред. А. К. Запольського. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
3. Frank, A. Miller. Disinfection with Liquid Sodium Hypochlorite: Principles, Methods, and Lessons Learned [Text] / Frank A. Miller // Florida Water Resources Journal. – 2012. – P. 4–8.
4. Lister, M. W. Decomposition of sodium hypochlorite; the catalyzed reaction [Text] / M. W. Lister // Canadian Journal of Chemistry. – 2011. – Vol. 34, Issue 4. – P. 479–488. doi: 10.1139/v56-069
5. Church, J. A. Kinetics of the uncatalyzed and Cu(II)-catalyzed decomposition of sodium hypochlorite [Text] / J. A. Church // Industrial & Engineering Chemistry Research. – 1994. – Vol. 33, Issue 2. – P. 239–245. doi: 10.1021/ie00026a010
6. Kim, K.-W. Manufacture characteristics of metal oxide-hydroxides for the catalytic decomposition of a sodium hypochlorite solution [Text] / K.-W. Kim, E.-H. Lee, D.-Y. Chung, J.-K. Moon, H.-S. Shin, J.-S. Kim, D.-W. Shin // Chemical Engineering Journal. – 2012. – Vol. 200-202. – P. 52–58. doi: 10.1016/j.cej.2012.06.026
7. Moorhouse, J. Modern Chlor-Alkali Technology [Text] / J. Moorhouse. – Chichester: MPG Books Ltd., 2001. – 48 p. doi: 10.1002/9780470999479
8. Feng, Y. Photolysis of aqueous free chlorine species (HOCl and OCl-) with 254 nm ultraviolet light [Text] / Y. Feng, D. W. Smith, J. R. Bolton // Journal of Environmental Engineering and Science. – 2007. – Vol. 6, Issue 3. – P. 277–284. doi: 10.1139/s06-052
9. Бикбулатов, И. Х. Безотходное производство хлоридринов [Текст] / И. Х. Бикбулатов. – М.: Химия, 2000. – 167 с.
10. Колесников, И. В. Устойчивость реальных растворов гипохлорита натрия [Текст] / И. В. Колесников // Хим. пром. – 1991. – № 6. – С. 361–365.
11. Кардашев, Т. А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии [Текст] / Т. А. Кардашев. – М.: Химия, 1991. – 208 с.
12. Робертс, Дж. Основы органической химии. Том 2. [Текст] / Дж. Робертс, М. Касерио : пер. с англ.; Изд. 2-е, доп. – М.: Мир, 1978. – 888 с.