

УДК 547.532:620.193.16

З.О. Знак, Ю.В. Сухацький, О.І. Зінь, К.Р. Вирста

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ КАВІТАЦІЙНОГО РОЗКЛАДУ БЕНЗЕНУ

Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів, Україна

Наведено результати досліджень з інтенсифікації процесу перетворення бензену в кавітаційних полях. Дослідження виконано у двох напрямках: 1) визначення об'ємного співвідношення кавітаційно оброблений імітат (КОІ):необроблений (вихідний) імітат (ВІ), за якого тривалість перетворення бензену була б мінімальною; 2) встановлення значення кисню у перебігу перетворення бензену в кавітаційних полях як радикального процесу. Для зменшення обсягів стічних вод, які необхідно піддавати кавітаційному обробленню, і, відповідно, енерговитрат на здійснення цього процесу рекомендовано здійснювати розклад бензену за вмісту попередньо оброблених у кавітаційних полях стічних вод у суміші з необробленими близько 1 об.%, що еквівалентно витраті енергії лише близько 10 кДж/м³ (0,33 кВт/м³). Зафіксовано постійність розрахункової тривалості процесу розкладу бензену (47 і 52 хв) за вмісту КОІ у суміші з ВІ в інтервалі 0,75...1,00 об.% та її зростання у випадку зменшення вмісту КОІ в суміші. Виявлено зменшення ефективності розкладу бензену за збільшення тривалості кавітаційного оброблення реакційної суміші (КОІ та ВІ) понад 900 с. Показано, що постійне інтенсивне перемішування реакційної суміші за вмісту КОІ 0,25...1,00 об.%, що забезпечувало абсорбцію кисню водним середовищем, який брав участь у процесі перетворення бензену за радикальним механізмом, сприяло значному зростанню ступеня перетворення бензену: від 30...36 % – без перемішування реакційної системи до 79...99 % – за її інтенсивного перемішування.

Ключові слова: кавітація, перетворення, бензен, вихідний імітат, кавітаційно оброблений імітат, перемішування, кисень.

DOI: 10.32434/0321-4095-2019-125-4-55-61

Вступ

Неочищені промислові стічні води є небезпечними для довкілля, зокрема, для водних екосистем, і, у підсумку, негативно впливають на здоров'я людей. Використання традиційних методів очищення, що ґрунтуються на процесах фізичного розділення, хімічних і біологічних перетвореннях, обмежується незначними концентраціями та вузьким діапазоном зміни якісного складу забруднювачів, можливістю утворення побічних продуктів чи відходів (наприклад, під час коагуляції, адсорбції або біологічного очищення) [1], значними енерго- та ресурсоемісністю, тощо. До принципово нових технологій очищення промислових стічних вод від органічних сполук належать кавітаційні, які дозволяють досягнути практично повної мінералізації домішок.

Серед промислових стічних вод особливу увагу привертають стічні води підприємств органічного синтезу, коксо- і нафтохімії, які містять ароматичні сполуки та їх похідні. Цим сполукам притаманні канцерогенні, мутагенні і тератогенні властивості, а тому вони слабо піддаються біодеградації мікроорганізмами, у тому числі й біологічних очисних споруд. Тому перспективним напрямом очищення таких стічних вод є застосування кавітаційних полів для генерування високореакційноздатних сполук [2], зокрема, гідроксильних радикалів, атомарного Оксигену, кисню, гідроген пероксиду, озону, тощо, які беруть участь у процесах розкладу та окиснення ароматичних сполук. Крім того, у кавітаційних полях інтенсифікуються процеси тепло- і масоперенесення, що сприяє пришвидшенню хімічних реакцій.

Необхідно зазначити, що ефективність перетворення ароматичних сполук у кавітаційних полях залежить від ступеня розвитку кавітаційних явищ. Інтенсивність розвитку кавітаційних явищ часто оцінюють за енергетичними характеристиками – величинами енергії на створення і розвиток кавітаційної області, питомими енерговитратами, величиною теплової енергії, що виділяється внаслідок кавітації. Тому ефективність перетворення ароматичних сполук у кавітаційних полях можна регулювати зміною технологічних параметрів процесу оброблення (величини тиску на вході у гідродинамічний кавітатор, температури середовища, величини рН, кратності циркуляції водного середовища тощо) і конструктивних особливостей сонохімічних реакторів (генераторів кавітації), таких як тип, форма, розміри, кількість робочих кавітувальних елементів, їх просторове розміщення тощо [1,3–7]. Так, встановлено, що за питомої потужності ультразвукового (УЗ) випромінювача 1,3 кВт/дм³ константа швидкості сонохімічної деструкції бензену зменшувалась у 3,3 рази (від 0,01 до 0,003 хв⁻¹) у разі збільшення початкової концентрації бензену в 20 разів (від 4 до 80 мг/дм³, відповідно). Константа швидкості сонохімічної деструкції толуену за питомої потужності УЗ-випромінювача 1,9 кВт/дм³ зменшувалась у 7 разів (від 0,028 до 0,004 хв⁻¹) за збільшення початкової концентрації толуену в 20 разів (від 4 до 80 мг/дм³, відповідно). При цьому константа швидкості реакцій першого порядку зростає практично лінійно зі збільшенням питомої потужності генератора УЗ-коливань [8].

Зменшення величини рН середовища від 11 до 3 під час кавітаційного оброблення фенолу УЗ із частотою 35 кГц впродовж 300 хв зумовлювало зростання ступеня його деструкції від 19 до 37% [9].

Виявлено, що результативність кавітації (її визначають як відношення маси забруднювача, який деструктував у кавітаційних полях, до енергії, що витрачається на здійснення цього процесу) залежить від конструкції генераторів кавітації. Наприклад, для ступеня деструкції толуену близько 80% результативність кавітації зростає у 8 разів (від $4,02 \cdot 10^{-3}$ до $32,2 \cdot 10^{-3}$ мг/Дж) при переході від кавітаційного пристрою з отворами до вихрового діода [1]. Це зумовлено тим, що для виникнення кавітації у вихровому діоді необхідний значно менший перепад тиску, ніж у пристрої з отворами.

Комбінація кавітації із реагентними методами сприяє підвищенню ефективності перетво-

рення ароматичних сполук. Так, під час окиснення фенолу озonom утворюються формиат- та оксалат-іони, які й зумовлюють вміст залишкового загального вуглецю у реакційному середовищі. Комбінація дії УЗ-коливань та оброблення озonom призводить до швидкого окиснення HCO_2^- і $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ до CO_2 , тобто зумовлює повну мінералізацію фенолу [10]. Одночасна аерація стічних вод (витрата повітря 1,5 дм³/хв) із вмістом піридину 100 мг/дм³ та їх УЗ-оброблення (частота УЗ-коливань 40 кГц; потужність генератора 360 Вт) впродовж 180 хв за рН 9,1 зумовлює підвищення ступеня деструкції піридину на 24%: від 25% у випадку УЗ-оброблення до 49% – у разі одночасної дії УЗ та аерації середовища [11].

За результатами попередніх досліджень розкладу бензену в кавітаційних полях [12] встановлено, що здійснення процесу за температури 303 К у режимі ініціювання реакції (питома потужність кавітаційного оброблення 22,7 кВт/м³) дає змогу досягнути вищого ступеня перетворення бензену (84,2%), порівняно зі стаціонарним режимом (за питомої потужності оброблення 68 кВт/м³ – 73,8 %), тобто ініціювавши процес сонолізу молекул води у кавітаційних полях можна зменшити енерговитрати на перетворення бензену щонайменше в 3 рази за одночасного збільшення ступеня його перетворення. При цьому константа швидкості розкладу бензену в режимі ініціювання реакції є у 2,2 рази більшою, ніж у стаціонарному режимі ($17,4 \cdot 10^{-4}$ і $7,94 \cdot 10^{-4}$ с⁻¹, відповідно). Це свідчить про те, що перетворення бензену в кавітаційних полях відбувається як реакція псевдопершого порядку за радикальним механізмом. Більше того виявлено, що розклад бензену триває, у разі збудження кавітації впродовж певного часу (тобто за умови внесення певної кількості енергії у систему), навіть після припинення збудження кавітації.

Дана робота присвячена дослідженням з інтенсифікації процесу перетворення бензену в кавітаційних полях.

Експериментальна частина

Дослідження процесу перетворення бензену в кавітаційних полях здійснювали на прикладі імітату стічних вод зі вмістом бензену, який лімітувався його максимальною розчинністю у воді [11] за температури 298 ± 3 К. Генератор кавітації – УЗ-випромінювач магнітострикційного типу «Ultrasonic Disintegrator UD-20» з частотою УЗ-коливань 22 кГц. Концентрацію бензену в імітаті визначали методом UV/Vis-спект-

роскопії у діапазоні довжин хвиль 200–400 нм на двопробеновому спектрофотометрі SPECORD M40 Carl Zeiss JENA (товщина кварцових кювет – 10 мм; середовище порівняння – дистильована вода).

Для визначення мінімально можливої тривалості перетворення бензену (до його вмісту в імітаті, що дорівнював гранично допустимій концентрації бензену у воді) кавітаційно оброблений імітат змішували із вихідним імітатом у співвідношенні, об. %: від 25:75 до 0,25:99,75. Розрахункову тривалість перетворення бензену визначали за рівняннями регресії, що описували зміну відповідних величин (концентрації бензену, ступеня його перетворення) в часі; при цьому величина достовірності апроксимації була не меншою, ніж 0,95. Для визначення значення кисню у перетворенні бензену процес здійснювали як за постійного інтенсивного перемішування ($Re > 12000$) реакційної системи, що містила кавітаційно оброблений і вихідний імітати, так і без її перемішування.

Результати та їх обговорення

Для зменшення об'ємів стічних вод, які піддавали кавітаційному обробленню, і, відповідно, енерговитрат на здійснення цього процесу виконували дослідження у двох напрямках: 1) визначення об'ємного співвідношення кавітаційно оброблений імітат (КОІ):необроблений (вихідний) імітат (ВІ), за якого тривалість перетворення бензену була мінімальною; 2) встановлення ролі кисню у перебігу перетворення бензену в кавітаційних полях як радикального процесу.

Дослідження у першому напрямі здійснювали за різних об'ємних співвідношень у реакційній суміші активованого у кавітаційних полях та вихідного імітатів. Тривалість кавітаційного оброблення імітату становила 900 і 1800 с (рис. 1, криві 1 і 2, відповідно). Впродовж 900 с під дією УЗ-коливань концентрація бензену зменшилась від 8,59 до 4,58 моль/м³ (за об'єму реакційної водно-бензольної суміші 100 см³), що відображено ділянкою A_1B_1 на рис. 1. Після цього з реакційної суміші швидко відбирали 25 см³ КОІ та вносили його до 75 см³ ВІ за інтенсивного перемішування за допомогою магнітної мішалки (вміст КОІ у суміші становив 25 об. %). За вмістом бензену в КОІ й у ВІ та з урахуванням їх об'ємів, взятих для приготування суміші, розраховували початкову концентрацію бензену в суміші, яка становила 7,59 моль/м³ (рис. 1, точка C_1). Після цього за інтенсивного перемішування одержану реакційну суміш експонували, періодично аналізуючи її на вміст бензену. Відпо-

відну зміну концентрації бензену відображено ділянкою D_1E_1 (рис. 1). Впродовж 1800 с після змішування КОІ та ВІ досягали ступеня перетворення бензену 72%. При цьому спостерігалась стійка тенденція – практично прямолінійна залежність концентрації бензену від часу. Розрахункова тривалість процесу у цьому разі дорівнювала близько 78 хв.

Аналогічні дослідження здійснювали з попередньою активацією у кавітаційних полях імітату стічної води впродовж 1800 с. Об'ємне співвідношення між КОІ та ВІ було таким самим: 1:3. Зміну концентрації бензену в імітаті під час його кавітаційного оброблення та в суміші КОІ та ВІ наведено на рис. 1, ділянки A_2B_2 і C_2E_2 , відповідно. Впродовж наступних 1800 с (після змішування обробленого у кавітаційних полях та необробленого імітату) ступінь перетворення бензену досягнув 66%, а розрахункова тривалість процесу становила 93 хв.

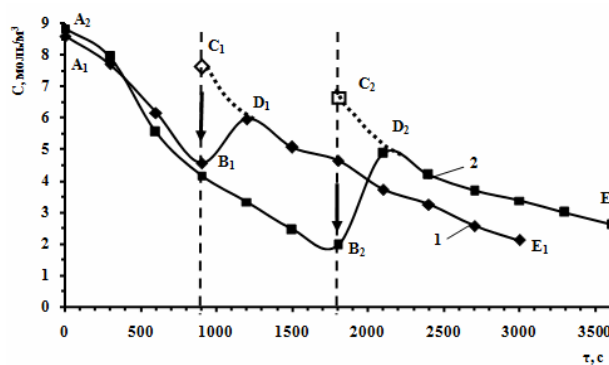


Рис. 1. Залежність концентрації бензену (C , моль/м³) від часу (τ , с): під час оброблення імітату (ділянки A_1B_1 і A_2B_2) та після змішування КОІ та ВІ (ділянки C_1E_1 і C_2E_2) за об'ємного співвідношення КОІ:ВІ=1:3. Тривалість кавітаційного оброблення імітату, с: (1) – 900; (2) – 1800. Момент введення обробленого імітату показано стрілкою

Отже, збільшення тривалості кавітаційного оброблення імітату дещо зменшує (від 72 до 66%) ефективність розкладу бензену, що підтверджує результати попередніх досліджень [12]. Такий негативний ефект від збільшення тривалості оброблення імітату, ймовірно, зумовлений превалюванням побічних процесів за участю згенерованих реакційно активних частинок, зокрема, внаслідок їх взаємодії між собою. Крім того, збільшення тривалості оброблення стічних вод призводитиме до непродуктивного збільшення енерговитрат на здійснення процесу перетворення бензену. Тому подальші дослідження ви-

конували з обробленням імітату в кавітаційних полях впродовж 900 с та з поступовим зменшенням вмісту КОІ в реакційній суміші, а саме, об. %: 15; 10; 5. Необхідно зазначити, що залежності зміни концентрації бензену від часу у вказаному вище діапазоні вмісту бензену мало відрізнялись від таких для вмісту 25 об. %, що зумовило виконання досліджень за ще нижчого вмісту КОІ у реакційній суміші.

Типові залежності зміни концентрації бензену під час кавітаційного оброблення суміші КОІ з ВІ за незначного вмісту попередньо активованого у кавітаційних полях імітату (0,25–1,00 об. %) наведено на рис. 2.

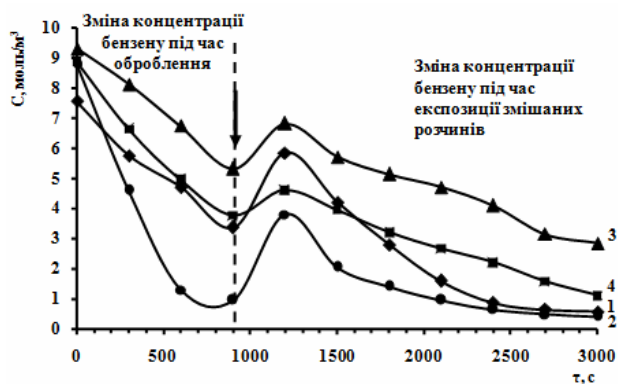


Рис. 2. Залежність концентрації бензену (C , моль/м³) від часу (τ , с) під час оброблення імітату та після змішування КОІ та ВІ; об'ємне співвідношення КОІ:ВІ: (1) – 1:99; (2) – 0,75:99,25; (3) – 0,5:99,5; (4) – 0,25:99,75. Момент введення обробленого імітату показано стрілкою

Зміну ступеня перетворення бензену (x , %) в часі (τ , с) з моменту змішування КОІ та ВІ наведено на рис. 3. При цьому для розрахунку ступеня перетворення бензену його початкову концентрацію у змішаних імітатах приймали рівною концентрації бензену у ВІ.

Як видно з рис. 3, ступінь перетворення бензену впродовж 2100 с після змішування КОІ та ВІ за їх об'ємного співвідношення 1:99; 0,75:99,25; 0,5:99,5; 0,25:99,75 становить відповідно 92, 95, 69 і 87%, відповідно. Розрахункова тривалість перетворення бензену ($\tau_{\text{розр}}$, хв) за вмісту в реакційній суміші КОІ (ϕ , об. %) 0,25; 0,5; 0,75; 1,00 об. % дорівнює 67, 82, 47 і 52 хв, відповідно (рис. 4).

За вмісту КОІ у суміші з ВІ в інтервалі 0,75–1,00 об. % тривалість процесу розкладу бензену є практично сталою, а з його зменшенням – істотно зростає.

Отже, на підставі отриманих результатів

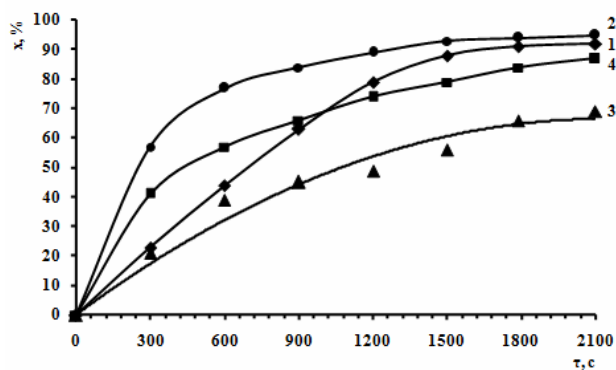


Рис. 3. Залежність ступеня перетворення бензену (x , %) від часу (τ , с) після змішування КОІ та ВІ; об'ємне співвідношення КОІ:ВІ: (1) – 1:99; (2) – 0,75:99,25; (3) – 0,5:99,5; (4) – 0,25:99,75

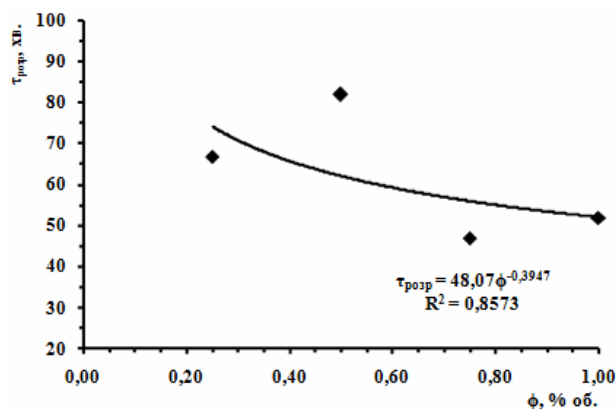


Рис. 4. Залежність розрахункової тривалості перетворення бензену ($\tau_{\text{розр}}$, хв) від об'ємного вмісту КОІ стічної води (ϕ , об. %) у суміші з ВІ

дійшли висновку, що процес розкладу бензену доцільно здійснювати за вмісту попередньо оброблених у кавітаційних полях стічних вод у суміші з необробленими близько 1 об. %. У цьому разі витрата енергії на збудження кавітації і, як наслідок, на розклад бензену становить лише близько 10 кДж/м³ (0,33 кВт/м³). Розклад бензену у суміші КОІ з ВІ без збудження кавітації однозначно свідчить про радикальний характер процесу. Тобто попереднє кавітаційне оброблення водно-органічного середовища забезпечує генерування достатньої концентрації продуктів радикальної природи, за участю яких й продовжується процес перетворення бензену у суміші КОІ з ВІ.

Наступними дослідженнями було підтверджено роль кисню в процесі розкладу бензену. Вивчення розкладу бензену після змішування кавітаційно активованих імітатів з необробленими здійснювали як за постійного перемішу-

вання, що забезпечувало абсорбцію кисню водним середовищем, так і без нього (перемішування було лише короткотривалим (30 с) для рівномірного змішування імітацій стічних вод). Результати досліджень наведено на рис. 5.

Без перемішування, тобто практично без підведення до реакційної системи кисню завдяки обмеженому контакту газової та рідкої фаз, процес перетворення бензену відбувався дуже повільно (рис. 5, залежності 3 і 4). Причому, зміна концентрації бензену, на відміну від здійснення процесу за перемішування, за вмісту в реакційному середовищі 1 і 0,25 об.% попередньо активованого у кавітаційних полях імітату, була практично однаковою. Це підтверджує роль кисню у перебігу перетворення бензену як радикального процесу [13]. Зокрема, різка зміна концентрації бензену впродовж перших п'яти хвилин процесу, ймовірно зумовлена наявністю кисню, абсорбованого із повітря водним розчином. Так, на початку процесу його швидкість у всіх випадках була подібною і дорівнювала близько $5,7 \cdot 10^{-3}$ моль/(с·м³). Однак надалі швидкість процесу без перемішування середовища, тобто за обмеженого його контакту з киснем, дорівнювала близько $4,5 \cdot 10^{-4}$ моль/(с·м³). Це, ймовірно, зумовлено сталою швидкістю генерування продуктів сонолізу води з окисними властивостями.

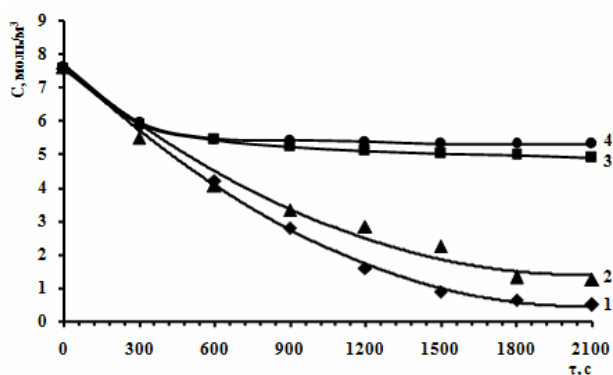


Рис. 5. Залежність концентрації бензену (C , моль/м³) від часу (τ , с) в суміші КОІ та ВІ; вміст КОІ в суміші, об.%: (1), (3) – 1; (2), (4) – 0,25; гідродинамічні умови: (1), (2) – з перемішуванням ($Re > 12000$); (3), (4) – без перемішування

Загалом, ступінь перетворення бензену без інтенсивного доступу кисню впродовж перших 300 с дорівнював 22–23%. Надалі, впродовж наступних 1800 с приріст ступеня перетворення дорівнював всього 8–13%, тобто у середньому

по 1,8% на кожні 300 наступних секунд. За інтенсивного перемішування реакційної системи ($Re > 12000$), що забезпечувало збільшення площі контакту розчину з повітрям, пришвидшення абсорбції кисню, дифузійних явищ тощо, ступінь перетворення бензену впродовж перших 300 с дорівнював 23–28%, а надалі впродовж наступних 1800 с його приріст вже дорівнював 56–71%, тобто у середньому по 10,6% на кожні 300 наступних секунд.

Отже, забезпечення підведення кисню до реакційної системи як суміші кавітаційно обробленого імітату та вихідного необробленого імітату стічних вод, дає змогу інтенсифікувати процес окиснення бензену, який відбувається за радикальним механізмом.

Висновки

На основі аналізу джерел інформації встановлено ефективність застосування кавітації, збудженої різними пристроями, для розкладу ароматичних сполук, зокрема бензену, толуену, фенолу, тощо. Виявлено, що комбінація кавітації із реагентними методами сприяє підвищенню ступеня перетворення ароматичних сполук.

Дослідження з інтенсифікації процесів перетворення бензену в кавітаційних полях здійснювали у двох напрямках: 1) визначення об'ємного співвідношення кавітаційно оброблений імітат (КОІ): необроблений (вихідний) імітат (ВІ), за якого розрахована тривалість перетворення бензену була мінімальною; 2) встановлення ролі кисню у перебігу перетворення бензену в кавітаційних полях як радикального процесу.

Встановлено, що, по-перше, для досягнення необхідного ступеня перетворення бензену оброблення всього обсягу стічних вод не потрібно – достатньо ініціювати процес оброблення лише частини водного середовища, що містить бензен. Рекомендовано здійснювати процес розкладу бензену за вмісту попередньо оброблених у кавітаційних полях стічних вод у суміші з необробленими близько 1 об.%. У цьому разі витрата енергії на збудження кавітації і, як наслідок, на розклад бензену становить лише близько 10 кДж/м³ (0,33 кВт/м³). За вмісту КОІ у суміші з ВІ в інтервалі 0,75–1,00 об.% розрахована тривалість процесу розкладу бензену є практично сталою (47 і 52 хв, відповідно), а з його зменшенням – істотно зростає. По-друге, збільшення тривалості кавітаційного оброблення реакційної суміші (КОІ та ВІ) понад 900 с може спричинити зменшення ефективності розкладу бензену – зменшення ступеня його перетворення і збільшення розрахованої тривалості

процесу.

Постійне перемішування реакційної суміші (Re>12000), що містила КОІ та ВІ, забезпечувало абсорбцію кисню водним середовищем, який брав участь у перебігу перетворення бензену за радикальним механізмом. Це забезпечувало значне зростання ступеня перетворення бензену: від 30–36% – без перемішування реакційної системи до 79–99% – за її інтенсивного перемішування.

Подяка

Дослідження виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України у межах спільного Українсько-Індійського науково-дослідного проекту «Гідродинамічна кавітація як основа інтенсивної і дешевої технології очищення промислових стічних вод, які містять токсичні органічні сполуки і тверді частинки».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Solvent degradation studies using hydrodynamic cavitation* / Suryawanshi P.G., Bhandari V.M., Sorokhaibam L.G., et al. // *Environ. Prog. Sustain. Energy*. – 2018. – Vol.37. – No. 1. – P.295-304.
2. *Thermochemical analysis of energetics in the process of water sonolysis in cavitation fields* / Z.O. Znak, Yu.V. Sukhatskiy, R.V. Mnykh, Z.S. Tkach // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2018. – No. 3. – P.64-69.
3. *Znak Z., Sukhatskiy Yu.* The Brandon method in modelling the cavitation processing of aqueous media // *Eastern-Europ. J. Enterprise Technol.* – 2016. – Vol.3. – No. 8 (81). – P.37-42.
4. *Energy characteristics of treatment of corrosive aqueous media in hydrodynamic cavitators* / V.T. Yavors'kyi, Z.O. Znak, Yu.V. Sukhats'kyi, R.V. Mnykh // *Mater. Sci.* – 2017. – Vol.52. – No. 4. – P.595-600.
5. *Gogate P.R., Tayal R.K., Pandit A.B.* Cavitation: a technology on the horizon // *Curr. Sci.* – 2006. – Vol.91. – No. 1. – P.35-46.
6. *Gogate P.R., Pandit A.B.* Sonophotocatalytic reactors for wastewater treatment: a critical review // *AIChE J.* – 2004. – Vol.50. – No. 5. – P.1051-1079.
7. *Ozonek J., Lenik K.* Effect of different design features of the reactor on hydrodynamic cavitation process // *Arch. Mater. Sci. Eng.* – 2011. – Vol.52. – No. 2. – P.112-117.
8. *Thoma G., Gleason M., Popov V.* Sonochemical treatment of benzene/toluene contaminated wastewater // *Environ. Prog. Sustain. Energy*. – 1998. – Vol.17. – No. 3. – P.154-160.
9. *Mahvi A.* Application of ultrasonic technology for water and wastewater treatment // *Iran. J. Publ. Health.* – 2009. – Vol.38. – No. 2. – P.1-17.
10. *Lesko T., Colussi A.J., Hoffmann M.R.* Sonochemical decomposition of phenol: evidence for a synergistic effect of ozone and ultrasound for the elimination of total organic carbon from water // *Environ. Sci. Technol.* – 2006. – Vol.40. – No. 21. – P.6818-6823.
11. *Elsayed M.A.* Ultrasonic removal of pyridine from wastewater: optimization of the operating conditions // *Appl. Water Sci.* – 2015. – Vol.5. – P.221-227.
12. *The decomposition of the benzene in cavitation fields* / Z.O. Znak, Yu.V. Sukhatskiy, O.I. Zin et al. // *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. – 2018. – No. 1. – P.72-77.
13. *The kinetics of the sonochemical process for the destruction of aliphatic and aromatic hydrocarbons* / J.-W. Kang, K.-H. Lee, Ch.-II Koh, S.-N. Nam // *Korean J. Chem. Eng.* – 2001. – Vol.18. – No. 3. – P.336-341.

Надійшла до редакції 23.10.2018

THE INTENSIFICATION OF THE CAVITATION DECOMPOSITION OF BENZENE

Z.O. Znak *, Yu.V. Sukhatskiy, O.I. Zin, K.R. Vyrsta
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
* e-mail: znak_zo@ukr.net

The paper presents the results of the study on the intensification of benzene conversion in a cavitation field. The work is focused upon two directions: (i) the determination of the volume ratio of cavitationally treated imitates (CTI):raw (outgoing) imitate (OI), at which the estimated duration of the transformation of benzene is minimal, and (ii) the ascertainment of the role of oxygen in the transformation of benzene in the cavitation fields as a radical process. To reduce the volume of wastewater that must be subjected to the cavitation treatment and, accordingly, the energy consumption in this process, we recommend decomposing benzene at the content of pre-treated wastewater in cavitation fields of about 1 vol.% in a mixture with untreated wastewater, that is equivalent to an energy consumption of only about 10 kJ m⁻³ (i.e. 0.33 kW m⁻³). It is established the constancy of the estimated duration of the benzene decomposition (47 and 52 min) at the content of CTI in a mixture with OI in the range of 0.75 to 1.00 vol.%. The growth of the estimated duration of the benzene decomposition is observed in the case of a decrease in the KOI content in the mixture. It is found that the efficiency of the benzene decomposition decreases with an increase in the duration of cavitation treatment of the reaction mixture (CTI and OI) of over 900 s. It is shown that a constant agitation of the reaction mixture at the CTI content of 0.25...1.00 vol.%, which ensured the absorption of oxygen by the aqueous environment that participated in the process of conversion benzene by a radical mechanism, contributes to a significant increase in the degree of conversion of benzene: from 30–36% to 79–99% without stirring the reaction system and under its intense stirring, respectively.

Keywords: cavitation; conversion; benzene; outgoing imitate; cavitationally treated imitate; stirring; oxygen.

REFERENCES

1. Suryawanshi P.G., Bhandari V.M., Sorokhaibam L.G., Ruparelia J.P., Ranade V.V. Solvent degradation studies using hydrodynamic cavitation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2018, vol. 37, pp. 295-304.
2. Znak Z.O., Sukhatskiy Yu.V., Mnykh R.V., Tkach Z.S. Thermochemical analysis of energetics in the process of water sonolysis in cavitation fields. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi*

Tekhnologii, 2018, no. 3, pp. 64-69.

3. Znak Z., Sukhatskiy Yu. The Brandon method in modelling the cavitation processing of aqueous media. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016, vol. 3, no. 8(81), pp. 37-42.

4. Yavors'kyi V.T., Znak Z.O., Sukhats'kyi Yu.V., Mnykh R.V. Energy characteristics of treatment of corrosive aqueous media in hydrodynamic cavitators. *Materials Science*, 2017, vol. 52, pp. 595-600.

5. Gogate P.R., Tayal R.K., Pandit A.B. Cavitation: a technology on the horizon. *Current Science*, 2006, vol. 91, no. 1, pp. 35-46.

6. Gogate P.R., Pandit A.B. Sonophotocatalytic reactors for wastewater treatment: a critical review. *AIChE Journal*, 2004, vol. 50, pp. 1051-1079.

7. Ozonek J., Lenik K. Effect of different design features of the reactor on hydrodynamic cavitation process. *Archives of Materials Science and Engineering*, 2011, vol. 52, pp. 112-117.

8. Thoma G., Gleason M., Popov V. Sonochemical treatment of benzene/toluene contaminated wastewater. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 1998, vol. 17, pp. 154-160.

9. Mahvi A. Application of ultrasonic technology for water and wastewater treatment. *Iranian Journal of Public Health*, 2009, vol. 38, pp. 1-17.

10. Lesko T., Colussi A.J., Hoffmann M.R. Sonochemical decomposition of phenol: evidence for a synergistic effect of ozone and ultrasound for the elimination of total organic carbon from water. *Environmental Science & Technology*, 2006, vol. 40, pp. 6818-6823.

11. Elsayed M.A. Ultrasonic removal of pyridine from wastewater: optimization of the operating conditions. *Applied Water Science*, 2015, vol. 5, pp. 221-227.

12. Znak Z.O., Sukhatskiy Yu.V., Zin O.I., Khomyak S.V., Mnykh R.V., Lysenko A.V. The decomposition of the benzene in cavitation fields. *Voprosy Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*, 2018, no. 1, pp. 72-77.

13. Kang J.-W., Lee K.-H., Koh C.-II, Nam S.-N. The kinetics of the sonochemical process for the destruction of aliphatic and aromatic hydrocarbons. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 2001, vol. 18, pp. 336-341.