

## ТЕХНОЛОГІЯ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН ТА СИЛІКАТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ю. В. Сухацький, Т. С. Дмитренко

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра хімії і технології неорганічних речовин  
yurii.v.sukhatskyi@lpnu.ua

### ЧИСЛО АКУСТИЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ОКИСНЮВАЛЬНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ДІАЗОБАРВНИКА КОНГО ЧЕРВОНОГО

<https://doi.org/10.23939/ctas2023.02.016>

Запропоновано комбінацію двох стратегій активації перйодатів для високоефективної та високоінтенсивної окиснювальної деградації діазобарвника конго червоного. Встановлено, що за середньої потужності генератора УЗ 10,2 Вт, якій відповідало значення числа акустичної кавітації 720, ступінь деградації конго червоного з використанням інноваційного процесу окиснення ультразвук/КІО<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub> дорівнював 97,2 %, а константа швидкості –  $9,1 \cdot 10^{-3} \text{ с}^{-1}$ . Виявлено збільшення інтенсивності окиснювальної деградації конго червоного зі зменшенням числа акустичної кавітації. Руйнування хромофорних груп барвника та його ароматичної структури підтверджено методом UV/Vis-спектроскопії.

**Ключові слова:** конго червоний; діазобарвник; окиснювальна деградація; активація перйодату; число акустичної кавітації; ультразвук; залізний купорос.

#### Вступ

Азобарвники – це токсичні водорозчинні сполуки з потенційними канцерогенними і мутагенними властивостями [1]. Стабільність їх хімічної структури зумовлює низьку ефективність деградації азобарвників біологічними методами.

Конго червоний (аббревіатура – КЧ; бруттоформула – C<sub>32</sub>H<sub>22</sub>N<sub>6</sub>Na<sub>2</sub>O<sub>6</sub>S<sub>2</sub>) – аніонний діазобарвник з рK<sub>a</sub>=4,5 [2], який використовують у паперовій, фармацевтичній, косметичній, текстильній, поліграфічній, гумовій та хімічній промисловості. Дуже часто КЧ із водних середовищ вилучають адсорбційними методами. Серед адсорбентів виділяють: лігноцелюлозні матеріали, які є відходами агропромислового комплексу [3] або побічними продуктами лісопереробної промисловості [4]; суспензії хітину після ензимолізу та соноензимолізу [5]; наноматеріали – наногібридний матеріал “графену оксид-CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>” [6] і полімерні нанокомпозити “полівініловий спирт/меламіноформальдегідна смола”, доповані наночастинка-

ми NiO [7]. Основний недолік адсорбційних методів – необхідність утилізації сорбентів після сорбції КЧ.

До інших технологій очищення стічних вод, які містять КЧ, належать: фотокаталіз [8], каталітичне озонування [9], термічно активоване персульфатне окиснення [10], сонохімічна деградація [1], гідродинамічна кавітація [11], інноваційні процеси окиснення, зокрема процес Фентона та фентонподібні процеси [12, 13]. Одним із найперспективніших напрямів підвищення ефективності вилучення КЧ зі стічних вод є комбінація акустичних коливань ультразвукового (УЗ) діапазону та інноваційних процесів окиснення [14, 15]. Так, застосувавши процес соно-фентон впродовж 60 хв, досягли ступеня окиснювальної деградації КЧ 83 %, а хімічне споживання кисню зменшилось на 89 % [15]. Умови експериментальних досліджень були такими: вихідна концентрація КЧ – 25 мг/дм<sup>3</sup>; потужність УЗ – 80 Вт; рН=3,5; концентрація H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – 5 ммоль/дм<sup>3</sup>; концентрація FeSO<sub>4</sub> – 25 мг/дм<sup>3</sup>.

Інноваційні процеси окиснення на основі активованих періодатів потенційно придатні для високоінтенсивного неселективного окиснення біорезистентних органічних сполук (наприклад, азобарвників або фармацевтичних препаратів). Методи активації періодатів поділяють на методи гомогенної та методи гетерогенної активації [16]. До методів гомогенної активації належать: активація ультрафіолетовим випромінюванням (фотоліз), в УЗ-полі (соноліз), мікрохвилями, термічна активація, активація водню пероксидом. Серед методів гетерогенної активації періодатів виділяють: фотокаталітичну активацію, активацію гранульованим активованим вугіллям, *d*-елементами та їх сполуками, наночастинками металів.

Значний інтерес становить активація періодатів *d*-елементами та їх сполуками. Zong та інші [17] повідомили, що значення ступенів окиснювальної деградації сульфаметоксазолу, карбамазепіну, ципрофлоксацину, ацетамідофенолу, 2, 4, 6-трихлорофенолу, бісфенолу А у разі використання системи Fe(II)/IO<sub>4</sub><sup>-</sup> впродовж 2 хв становили 88,9–100 %. Основним реакційним видом був синглетний кисень (<sup>1</sup>O<sub>2</sub>). Використання УЗ для активації періодатів призводило до утворення високореакційноздатних радикалів – IO<sub>3</sub><sup>-</sup>, ·OH, IO<sub>4</sub><sup>-</sup> [18]. Тому поєднання різних стратегій активації періодатів, зокрема УЗ-активації та активації сполуками *d*-елементів, відкриває перспективи для високоефективної та високоінтенсивної деградації стійких N-вмісних сполук за рахунок розширення спектра реакційноздатних видів, які утворюються як за радикальними, так і за нерадикальними механізмами.

Для порівняння результатів експериментальних досліджень гідродинамічної кавітації використовують безрозмірний параметр, який називають числом гідродинамічної кавітації ( $\sigma_{гдр}$ ). Це число характеризує інтенсивність кавітаційних потоків у рідинній системі [19]:

$$\sigma_{гдр} = \frac{p - p_{нас}}{0,5\rho v^2}, \quad (1)$$

де *p* – тиск на вході у гідродинамічний кавітатор, Па; *p*<sub>нас</sub> – тиск насиченої пари робочої рідини за температури рідини *T*, Па;  $\rho$  – густина рідини, кг/м<sup>3</sup>; *v* – швидкість потоку рідини, м/с.

Донедавна не існувало аналогічного параметра для акустичної (ультразвукової) кавітації. Однак у 2018 р. Dular і Petkovšek використали комбінацію акустичного імпедансу та інтенсивності, щоб отримати число акустичної кавітації ( $\sigma_{акуст}$ ) [20]:

$$\sigma_{акуст} = \frac{2(p_{\psi} - p_{нас}^{T_{\psi}})cA_d}{\pi^2 P}, \quad (2)$$

де *p*<sub>ψ</sub> – тиск навколишнього середовища, Па; *p*<sub>нас</sub><sup>T<sub>ψ</sub></sup> – тиск насиченої пари рідини за температури навколишнього середовища *T*<sub>ψ</sub>, Па; *c* – швидкість звуку в рідині, м/с;  $\pi$  – число пі ( $\pi \approx 3,14$ ); *P* – середня потужність генератора УЗ, Вт; *A*<sub>*d*</sub> – площа робочої поверхні випромінювача УЗ, м<sup>2</sup>, яку обчислюють за формулою (3):

$$A_d = \frac{\rho d^2}{4}, \quad (3)$$

де *d* – діаметр робочої поверхні випромінювача УЗ, м. Отже, запропонований вираз (рівняння (2)) для розрахунку числа акустичної кавітації охоплює як властивості рідини (тиск насиченої пари рідини і швидкість звуку в рідині), так і експлуатаційні умови (тиск навколишнього середовища, середню потужність генератора УЗ), а також характеристики робочого елемента (площу робочої поверхні випромінювача УЗ).

**Мета роботи** полягала у дослідженні впливу числа акустичної кавітації на інтенсивність окиснювальної деградації діазобарвника КЧ із використанням процесу окиснення УЗ/KIO<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub>.

#### Матеріали та методи досліджень

150 см<sup>3</sup> водного розчину КЧ із концентрацією 50 мг/дм<sup>3</sup> ( $71,8 \cdot 10^{-6}$  моль/дм<sup>3</sup>) готували з використанням дистильованої води, постійно перемішували. Приготованим розчином заповнювали скляний реактор. Об'єм реактора – 250 см<sup>3</sup>, коефіцієнт заповнення – 60 %. Постійне значення рН розчину КЧ (рН = 3,00±0,01) підтримували дозуванням водного розчину хлоридної кислоти. Вимірювання рН здійснювали рН-метром ADWA AD1200 АТС (Угорщина). Реакції окиснення ініціювали послідовним введенням у водний розчин КЧ певних кількостей порошку калію періодату (KIO<sub>4</sub>) та залізного купоросу (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) із їх подальшим перемішуванням. Мольне співвідношення КЧ:KIO<sub>4</sub>:FeSO<sub>4</sub> дорівнювало 1:10:5.

Як генератор акустичних коливань УЗ-діапазону застосовували УЗ-випромінювач магнітострикційного типу “Ultrasonic Disintegrator UD-20” (Польща) з частотою УЗ 22 кГц та можливістю зміни середньої потужності УЗ (три режими, що відповідають потужності 8,0; 10,2 і 12,5 Вт). Ізотермічні умови ( $T = 293 \pm 0,5$  К) окиснювальної деградації КЧ з використанням процесу окиснення УЗ/КІО<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub> забезпечували термостатуванням (термостат CORIO C-BT5, оснащений виносною термостатованою ванною) реакційного середовища у скляному реакторі.

Через задані проміжки часу відбирали проби реакційного середовища (об’єм – 2 см<sup>3</sup>), які фільтрували під вакуумом через поліамідну мембрану з діаметром пор 0,2 мкм для відділення частинок нерозчинних сполук Fe(III). Відфільтровані зразки розчину аналізували за допомогою UV-Vis-спектрофотометра UV-3100PC (Китай) із набором кварцових кювет завтовшки 1 см у діапазоні довжин хвиль від 200 до 1000 нм. Максимум поглинання для діазобарвника КЧ за рН = 3,00 відповідав довжині хвилі 574 нм. Концентрацію барвника обчислювали на основі попередньо побудованих калібрувальних кривих.

Ефективність окиснювальної деградації КЧ оцінювали за значеннями ступеня деградації, інтенсивність – за значеннями константи швидкості ( $k$ ) для реакцій псевдопершого порядку, обчисленими за тангенсом кута нахилу прямих, що є лінійними анаморфозами кінетичних кривих у напівлогарифмічних координатах ( $\ln C_0/C = kt$ ).

Синергетичний коефіцієнт ( $f_{УЗ/КІО_4/FeSO_4}$ ) комбінованого процесу окиснення УЗ/КІО<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub> розраховували на основі констант швидкості для індивідуальних процесів

$$f_{УЗ/КІО_4/FeSO_4} = \frac{k_{УЗ/КІО_4/FeSO_4}}{k_{УЗ} + k_{КІО_4/FeSO_4}}. \quad (4)$$

Після підстановки формули (3) у формулу (2) вираз для розрахунку числа акустичної кавітації набуває вигляду

$$\sigma_{акуст} = \frac{(p_{\#} - p_{нас}^{T_{\#}})cd^2}{2\pi P}. \quad (5)$$

### Результати досліджень та їх обговорення

Вплив середньої потужності генератора УЗ на кінетику окиснювальної деградації КЧ з вико-

ристанням інноваційного процесу окиснення УЗ/КІО<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub> наведено на рис. 1.

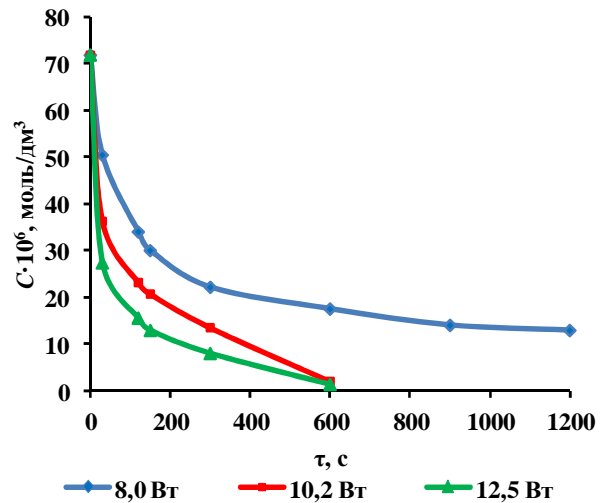


Рис. 1. Кінетичні криві окиснювальної деградації КЧ (вплив середньої потужності генератора УЗ); (умови:  $V=(150 \pm 1)$  см<sup>3</sup>,  $C_0(\text{КЧ})=71,8 \cdot 10^{-6}$  моль/дм<sup>3</sup>, температура –  $(20 \pm 0,5)$  °С, мольне співвідношення КЧ:КІО<sub>4</sub>:FeSO<sub>4</sub>=1:10:5, рН=3,00±0,01)

Встановлено, що зі збільшенням середньої потужності генератора УЗ від 8,0 до 10,2 Вт ступінь деградації КЧ внаслідок застосування процесу УЗ/КІО<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub> упродовж 600 с зростав від 75,7 до 97,2 % (рис. 1). Подальше збільшення середньої потужності генератора УЗ майже не впливало на ступінь окиснювальної деградації КЧ – він зростав на 1,0 % (до 98,2 %).

Дані, необхідні для розрахунку числа акустичної кавітації під час оброблення реакційного середовища, наведено у таблиці.

### Вихідні дані для розрахунку числа акустичної кавітації

$p_{\infty}$ , Па	$p_{нас}^{T_{\#}}$ , Па	$c$ , м/с	$d$ , м
97 592	2 300	1 494	$18 \cdot 10^{-3}$

Зі зменшенням числа акустичної кавітації від 918 до 588, що еквівалентно збільшенню середньої потужності генератора УЗ від 8,0 до 12,5 Вт, константа швидкості окиснювальної деградації КЧ зростала від  $6,1 \cdot 10^{-3}$  до  $12,5 \cdot 10^{-3}$  с<sup>-1</sup> (рис. 2). Отже, інтенсивність окиснювальної деградації КЧ з використанням інноваційного процесу окиснення УЗ/КІО<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub> зростала зі зменшенням числа акустичної кавітації. Це було зумовлено інтенси-

фікацією кавітаційних явищ і, як наслідок, поси-  
леним генеруванням комплексу потужних окис-  
ників – синглетного кисню, йодильних, періодич-  
льних, гідроксильних радикалів [16].

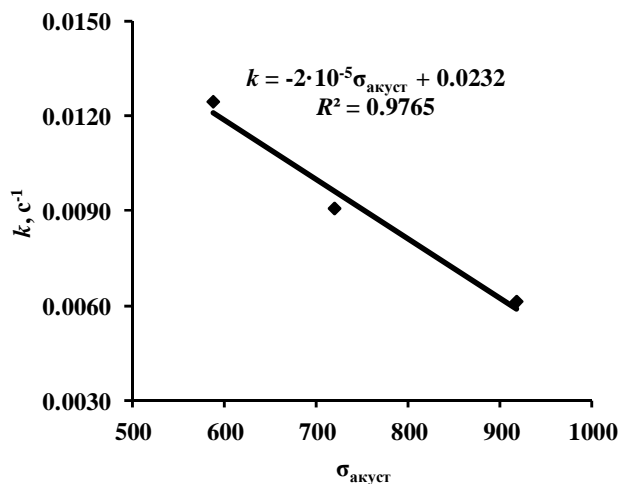


Рис. 2. Залежність константи швидкості окиснювальної деградації КЧ ( $k$ ,  $\text{с}^{-1}$ ) від числа акустичної кавітації ( $\sigma_{\text{акуст}}$ )

Зважаючи на неістотну різницю (1 %) в ефективності окиснювальної деградації КЧ за значень середньої потужності генератора УЗ 10,2 і 12,5 Вт (відповідно, 97,2 і 98,2 %), а також для зменшення енергоємності очищення водних середовищ, які містять КЧ, окиснювальну деградацію барвника доцільно здійснювати за середньої потужності генератора УЗ 10,2 Вт. Цій потужності відповідають значення константи швидкості  $9,1 \cdot 10^{-3} \text{с}^{-1}$  і числа акустичної кавітації 720.

Ступінь деградації КЧ із використанням тільки дії УЗ, тільки реагентного оброблення ( $\text{KIO}_4/\text{FeSO}_4$ ) та комбінованого процесу ( $\text{УЗ}/\text{KIO}_4/\text{FeSO}_4$ ) упродовж 600 с дорівнював відповідно 4,1; 66,6 і 97,2 %. Константа швидкості деградації КЧ, визначена за тангенсом кута нахилу прямих, що є лінійними анаморфозами кінетичних кривих у напівлогарифмічних координатах ( $\ln C_0/C = kt$ ) (рис. 3), із застосуванням зазначених вище методів оброблення дорівнювала, відповідно,  $0,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $3,3 \cdot 10^{-3}$  та  $9,1 \cdot 10^{-3} \text{с}^{-1}$ . Це вказує на синергізм дії УЗ та реагентів (синергетичний коефіцієнт  $f$  для процесу  $\text{УЗ}/\text{KIO}_4/\text{FeSO}_4$  дорівнював 2,6) і на перспективність комбінацій різних стратегій активації періодатів.

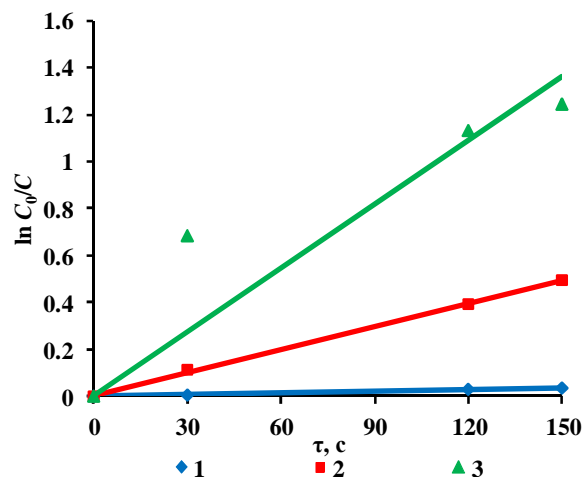


Рис. 3. Лінійні анаморфози кінетичних кривих деградації КЧ із використанням: 1 – УЗ; 2 –  $\text{KIO}_4/\text{FeSO}_4$ ; 3 –  $\text{УЗ}/\text{KIO}_4/\text{FeSO}_4$  (умови:  $V=(150 \pm 1) \text{см}^3$ ,  $C_0(\text{КЧ})=71,8 \cdot 10^{-6} \text{моль}/\text{дм}^3$ , температура –  $(20 \pm 0,5) \text{°C}$ , мольне співвідношення  $\text{КЧ}:\text{KIO}_4:\text{FeSO}_4=1:10:5$ ,  $\text{pH}=3,00 \pm 0,01$ ,  $\sigma_{\text{акуст}}=720$ )

На основі аналізу UV/Vis-спектрів окиснювальної деградації КЧ зафіксовано гіпсохромне (синє) зміщення максимуму поглинання від 574 нм (необроблене реакційне середовище, 0 с) відповідно до 536 нм (тривалість комбінованого кавітаційно-реагентного оброблення – 120 с), 516 нм (тривалість комбінованого кавітаційно-реагентного оброблення – 300 с) і 500 нм (тривалість комбінованого кавітаційно-реагентного оброблення – 600 с) (рис. 4). Фактором, який зумовлював таке зміщення, було депротонування КЧ за азогрупами.

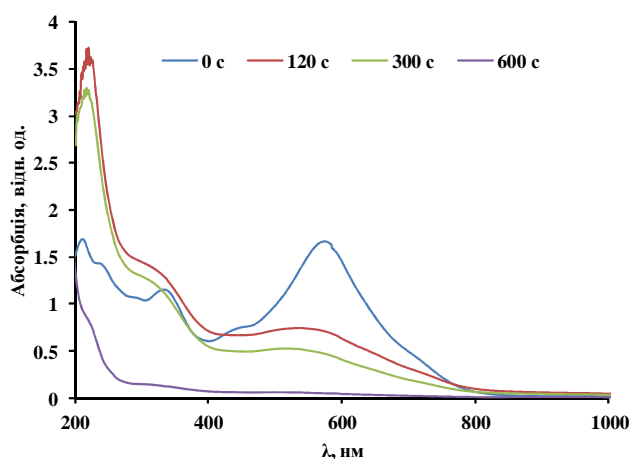


Рис. 4. UV/Vis-спектри окиснювальної деградації КЧ із використанням процесу  $\text{УЗ}/\text{KIO}_4/\text{FeSO}_4$  (умови:  $V=(150 \pm 1) \text{см}^3$ ,  $C_0(\text{КЧ})=71,8 \cdot 10^{-6} \text{моль}/\text{дм}^3$ , температура –  $(20 \pm 0,5) \text{°C}$ , мольне співвідношення  $\text{КЧ}:\text{KIO}_4:\text{FeSO}_4=1:10:5$ ,  $\text{pH}=3,00 \pm 0,01$ ,  $\sigma_{\text{акуст}}=720$ )

На руйнування хромофорних груп барвника (відповідно, C=N та азогруп (N=N)) вказує гіпохромний ефект (зменшення інтенсивності поглинання) у діапазоні довжин хвиль 500–574 нм [21]. Наслідком було знебарвлення реакційного середовища. Деградацію ароматичної структури (розкриття бензенових кілець та утворення лінійних фрагментів) барвника було підтверджено зменшенням інтенсивності поглинання у діапазоні довжин хвиль 250–350 нм, які відповідають  $\pi \rightarrow \pi^*$  переходам в ароматичних кільцях. Зазначені вище варіації в UV/Vis-спектрах свідчать про мінералізацію діазобарвника КЧ.

### Висновки

Для високоефективної та високоінтенсивної окиснювальної деградації діазобарвника КЧ запропоновано комбінацію двох стратегій активації періодатів, а саме УЗ-активації та активації залізним купоросом. Встановлено, що ступінь окиснювальної деградації КЧ за середньої потужності генератора УЗ 10,2 Вт дорівнював 97,2 %. Цій потужності відповідали значення константи швидкості деградації КЧ  $9,1 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$  і числа акустичної кавітації 720. Зі зменшенням числа акустичної кавітації (збільшенням середньої потужності генератора УЗ) інтенсивність окиснювальної деградації КЧ, яку оцінювали за значенням константи швидкості, зростала. Однак збільшувати середню потужність генератора УЗ понад 10,2 Вт нераціонально, оскільки зафіксовано підвищення ступеня деградації КЧ тільки на 1 %. Методом UV/Vis-спектроскопії підтверджено руйнування хромофорних груп барвника (C=N і N=N), що також фіксували візуально за знебарвленням реакційного середовища, та його ароматичної структури.

Дослідження виконано за підтримки Міністерства освіти і науки України у межах проекту наукової роботи молодих вчених “Передові процеси окиснення, зокрема нанокаталітичного, в основі кавітаційних технологій очищення водних середовищ від резистентних N-заміщених органічних сполук” (номер державної реєстрації 0122U000790).

### References

1. Sistla, S., & Chintalapati, S. (2008). Sonochemical degradation of Congo Red. *International Journal of*

*Environment and Waste Management*, 2(3), 309–319. DOI: 10.1504/IJEW.2008.018251

2. Swan, N. B., & Zaini, M. A. A. (2019). Adsorption of malachite green and congo red dyes from water: recent progress and future outlook. *Ecological Chemistry and Engineering S*, 26(1), 119–132. DOI: 10.1515/eces-2019-0009

3. Yaneva, Z. L., & Georgieva, N. V. (2012). Insights into Congo red adsorption on agro-industrial materials spectral, equilibrium, kinetic, thermodynamic, dynamic and desorption studies. A review. *International Review of Chemical Engineering*, 4(2), 127–146.

4. Litefti, K., Freire, M. S., Stitou, M., & González-Álvarez, J. (2019). Adsorption of an anionic dye (Congo red) from aqueous solutions by pine bark. *Scientific Reports*, 9, 16530. DOI: 10.1038/s41598-019-53046-z

5. Hou, F., Wang, D., Ma, X., Fan, L., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2021). Enhanced adsorption of Congo red using chitin suspension after sonoenzymolysis. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105327. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2020.105327

6. Zourou, A., Ntziouni, A., Adamopoulos, N., Roman, T., Zhang, F., Terrones, M., & Kordatos, K. (2022). Graphene oxide-CuFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> nanohybrid material as an adsorbent of Congo red dye. *Carbon Trends*, 7, 100147. DOI: 10.1016/j.cartre.2022.100147

7. Bhat, S. A., Zafar, F., Mirza, A. U., Mondal, A. H., Kareem, A., Haq, Q. M. R., & Nishat, N. (2020). NiO nanoparticle doped-PVA-MF polymer nanocomposites: Preparation, Congo red dye adsorption and antibacterial activity. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(6), 5724–5739. DOI: 10.1016/j.arabj.2020.04.011

8. Yang, Y., Liu, K., Sun, F., Liu, Y., & Chen, J. (2022). Enhanced performance of photocatalytic treatment of Congo red wastewater by CNTs-Ag-modified TiO<sub>2</sub> under visible light. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 15516–15525. DOI: 10.1007/s11356-021-16734-w

9. Tapalad, T., Neramittagapong, A., Neramittagapong, S., & Boonmee, M. (2008). Degradation of Congo red dye by ozonation. *Chiang Mai Journal of Science*, 35(1), 63–68.

10. Luo, C., Wu, D., Gan, L., Cheng, X., Ma, Q., Tan, F., ... Ma, J. (2020). Oxidation of Congo red by thermally activated persulfate process: Kinetics and transformation pathway. *Separation and Purification Technology*, 244, 116839. DOI: 10.1016/j.seppur.2020.116839

11. Deshmukh, S. M., Raut, V. N., & Ingole, P. M. (2020). Degradation of Congo red dye using hydrodynamic cavitation. *International Journal of Advanced Research*, 8(9), 1294–1299. DOI: 10.21474/IJAR01/11788

12. Nasron, A. N., Azman, N. S., Rashid, N. S. S. M., & Said, N. R. (2018). Degradation of Congo red dye in

aqueous solution by using advanced oxidation processes. *Journal of Academia*, 6(2), 1–11.

13. Ma, P., Han, C., He, Q., Miao, Z., Gao, M., Wan, K., & Xu, E. (2022). Oxidation of Congo red by Fenton coupled with micro and nanobubbles. *Environmental Technology*, 35098875. DOI: 10.1080/09593330.2022.2036245

14. Meshram, S. P., Tayade, D. T., Ingle, P. D., Jolhe, P. D., Diwate, B. B., & Biswas, S. B. (2010). Ultrasonic cavitation induced degradation of Congo red in aqueous solutions. *Chemical Engineering Research Bulletin*, 14, 119–123. DOI: 10.3329/ceerb.v14i2.5899

15. Nawaz, S., Siddique, M., Khan, R., Riaz, N., Waheed, U., Shahzadi, I., & Ali, A. (2022). Ultrasound-assisted hydrogen peroxide and iron sulfate mediated Fenton process as an efficient advanced oxidation process for the removal of Congo red dye. *Polish Journal of Environmental Studies*, 31(3), 2749–2761. DOI: 10.15244/pjoes/144298

16. Sukhatskiy, Y., Shepida, M., Sozanskyi, M., Znak, Z., & Gogate, P. R. (2023). Periodate-based advanced oxidation processes for wastewater treatment: A review. *Separation and Purification Technology*, 304, 122305. DOI: 10.1016/j.seppur.2022.122305

17. Zong, Y., Shao, Y., Zeng, Y., Shao, B., Xu, L., Zhao, Z., ...Wu, D. (2021). Enhanced oxidation of organic contaminants by iron(II)-activated periodate: the significance of high-valent iron-oxo species. *Environmental Science & Technology*, 55(11), 7634–7642. DOI: 10.1021/acs.est.1c00375

18. Lee, Y.-C., Chen, M.-J., Huang, C.-P., Kuo, J., & Lo, S.-L. (2016). Efficient sonochemical degradation of perfluorooctanoic acid using periodate. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31, 499–505. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.01.030

19. Gevari, M. T., Parlar, A., Torabfam, M., Koşar, A., Yüce, M., & Ghorbani, M. (2020). Influence of fluid properties on intensity of hydrodynamic cavitation and deactivation of *Salmonella typhimurium*. *Processes*, 8(3), 326. DOI: 10.3390/pr8030326

20. Kozmus, G., Zevnik, J., Hočevár, M., Dular, M., & Petkovšek, M. (2022). Characterization of cavitation under ultrasonic horn tip – Proposition of an acoustic cavitation parameter. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 106159. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106159

21. Baena-Baldiris, D., Montes-Robledo, A., Baldiris-Avila, R. (2020). *Franconibacter sp.*, 1MS: A new strain in decolorization and degradation of azo dyes Ponceau S Red and Methyl Orange. *ACS Omega*, 5(43), 28146–28157. DOI: 10.1021/acsomega.0c03786

**Yu. V. Sukhatskiy, T. S. Dmytrenko**

Lviv Polytechnic National University,

Department of Chemistry and Technology of Inorganic Substances

#### **ACOUSTIC CAVITATION NUMBER AND ITS EFFECT ON THE INTENSITY OF OXIDATIVE DEGRADATION OF CONGO RED DIAZO DYE**

**A combination of two periodate activation strategies was proposed for highly efficient and highly intensive oxidative degradation of Congo red diazo dye. It was found that at the average power of the ultrasound generator of 10.2 W, which corresponded to the value of the acoustic cavitation 720, the degradation degree of Congo red using the innovative ultrasound/KIO<sub>4</sub>/FeSO<sub>4</sub> oxidation process was equal to 97.2 %, and the rate constant was 9.1·10<sup>-3</sup> s<sup>-1</sup>. An increase in the intensity of the oxidative degradation of Congo red with a decrease in the acoustic cavitation number was revealed. The destruction**

**Key words: Congo red; diazo dye; oxidative degradation; periodate activation; acoustic cavitation number; ultrasound; iron sulfate.**