

ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕТЕРОГЕННИХ КАТАЛІЗАТОРІВ ФЕНТОНА

Шульга Валерія Сергіївна,

здобувач вищої освіти III курсу, valeriia.shulha.21@pnu.edu.ua

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна

Татарчук Тетяна Романівна,

кандидат хімічних наук, доцент, tetyana.tatarchuk@pnu.edu.ua

Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, Україна

Тема очищення води особливо актуальна зараз в Україні. До повномасштабного вторгнення в Україні налічувалось 6 великих водосховищ на річці Дніпро, повне знищення Каховського водосховища призвело до екологічної катастрофи, наслідками стали різке погіршення стану води через велику кількість забруднень в Чорному морі та гибель більшості морської фауни. Тому зараз потрібно зосередити багато уваги на вдосконаленні технології очищення забруднених вод. Одним з методів очистки води є використання процесу Фентона. В класичному процесі Фентона використовуються сульфат феруму(II) та пероксид водню:



Механізм реакції Фентона базується на окисненні Fe^{2+} до Fe^{3+} , яке одночасно утворює гідроксильний радикал (реакція 1), з подальшим відновленням Fe^{3+} до Fe^{2+} (рівняння 2), що дозволяє регенерувати каталізатор. Основна ідея реакції базується на утворенні гідроксильних радикалів. Іони Fe^{2+} виступають каталізаторами розкладу пероксиду водню. В результаті їх взаємодії утворюються гідроксильні радикали, які здатні неселективно руйнувати органічні молекули та інактивувати бактерії. Проте, класичний процес Фентона вимагає рН ~ 3 , що є недоліком, бо призводить до корозії реакторів. Другий недолік: в результаті процесу накопичується осад (гідроксиди феруму), а це, у свою чергу, потребує додаткової утилізації. В зв'язку з цим постає актуальне завдання знайти активні гетерогенні (а не гомогенні) каталізатори Фентона, які ефективно очищатимуть воду і будуть позбавлені вище наведених недоліків.

Перспективними гетерогенними каталізаторами Фентона є залізовмісні сполуки, зокрема оксиди заліза (гематит, магнетит, маггеміт), ферити, оксигідроксиди, гетит, швертманіт, тощо. Їх перевагами є низький рівень токсичності, висока каталітична активність, здатність легко відновлюватися [1]. Гетерогенні каталізатори Фентона застосовуються до усунення органічних забруднень із води, а також для інактивації бактерій. Органічних забруднювачів в навколишньому середовищі виявляють все більше, такі поллютанти включають як і стійкі забруднювачі (скорочено СОЗ), так і нові забруднювачі [2]. СОЗ – це хімічні речовини, які можуть переноситись на далекі відстані, біоакумулюватися та протистояти деградації [3]. Вони почали викликати занепокоєння недавно, до них відносять фармацевтичні препарати, антипірени, стероїдні естерогени, антибіотики, пестициди, поверхнево-активні речовини, промислові добавки, штучні підсолоджувачі, тощо [4][5].

Аналіз літератури показав, що Фентон-подібну активність та антибактеріальний ефект в процесах дезінфекції води виявляє гематит [6]. Повідомляється, що Fe_2O_3 ефективний проти грампозитивних бактерій. У дослідженні [7] синтезовано нанокompatит $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{Co}_3\text{O}_4$ та описано його антимікробні властивості проти *E. coli*, *B. subtilis*, *S. aureus* та *S. Typhi*. Бактерицидну активність отриманого матеріалу пояснено синергетичною дією обох оксидів. У дослідженні [8] синтезовано зразок гематиту «зеленим» методом з використанням екстракту *Anacardium occidentale*, який демонстрував антибактеріальну активність. *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus* були успішно інактивовані. У статті [9] досліджено інактивацію коліфагу MS2 в присутності гетерогенних каталізаторів Фентона, таких як гематит, гетит,

магнетит та аморфний гідроксид заліза. Коліфаг MS2 за своєю будовою дуже схожий на вірус гепатит А та поліовірус, тому використовується як модельний організм для досліджень. Результати показали, що гетерогенні каталізатори Фентона можуть видаляти віруси з води як фізично (через адсорбцію), так і інактивувати віруси шляхом каталітичної дії за участю гідроксильних радикалів. Гетит може діяти як напівпровідник у фотокаталітичному процесі та як гетерогенне джерело заліза в процесі Фентона при нейтральному рН [10].

1. N. Thomas, D. D. Dionysiou, and S. C. Pillai, “Heterogeneous Fenton catalysts: A review of recent advances,” 2020, doi: 10.1016/j.jhazmat.2020.124082.

2. Y. Cardona, A. Węgrzyn, P. Miśkowiec, S. A. Korili, and A. Gil, “Heterogeneous Fenton- and photo-Fenton-like catalytic degradation of emerging pollutants using Fe₂O₃/TiO₂/pillared clays synthesized from aluminum industrial wastes,” *J. Water Process Eng.*, vol. 52, 2023, doi: 10.1016/j.jwpe.2023.103494.

3. L. Fitzgerald and D. S. Wikoff, “Persistent Organic Pollutants,” in *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, 2014. doi: 10.1016/B978-0-12-386454-3.00211-6.

4. Y. Hu *et al.*, “A nanoscale ‘yarn ball’-like heteropoly blue catalyst for extremely efficient elimination of antibiotics and dyes,” *J. Environ. Manage.*, vol. 245, 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.119.

5. J. Scaria, A. Gopinath, and P. V. Nidheesh, “A versatile strategy to eliminate emerging contaminants from the aqueous environment: Heterogeneous Fenton process,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 278. 2021. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124014.

6. T. Tatarchuk *et al.*, “Oxytetracycline removal and E. Coli inactivation by decomposition of hydrogen peroxide in a continuous fixed bed reactor using heterogeneous catalyst,” *J. Mol. Liq.*, vol. 366, p. 120267, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.molliq.2022.120267.

7. M. Bhushan, Y. Kumar, L. Periyasamy, and A. K. Viswanath, “Antibacterial applications of α -Fe₂O₃/Co₃O₄ nanocomposites and study of their structural, optical, magnetic and cytotoxic characteristics,” *Appl. Nanosci.*, vol. 8, no. 1–2, pp. 137–153, 2018, doi: 10.1007/s13204-018-0656-5.

8. A. Rufus, N. Sreeju, V. Vilas, and D. Philip, “Biosynthesis of hematite (α -Fe₂O₃) nanostructures: Size effects on applications in thermal conductivity, catalysis, and antibacterial activity,” *J. Mol. Liq.*, vol. 242, pp. 537–549, 2017, doi: 10.1016/j.molliq.2017.07.057.

9. J. I. Nieto-Juarez and T. Kohn, “Virus removal and inactivation by iron (hydr)oxide-mediated Fenton-like processes under sunlight and in the dark,” *Photochem. Photobiol. Sci.*, vol. 12, no. 9, 2013, doi: 10.1039/c3pp25314g.

10. C. Ruales-Lonfat *et al.*, “Iron oxides semiconductors are efficient for solar water disinfection: A comparison with photo-Fenton processes at neutral pH,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 166–167, 2015, doi: 10.1016/j.apcatb.2014.12.007.