

**COLLECTION OF RESEARCH PAPERS**

of the 8th International Research and Practical Conference

**CHEMICAL TECHNOLOGY:  
SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

VIII Міжнародної науково-практичної конференції

**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:  
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**



МІНІСТЕРСТВО  
ОСВІТИ І НАУКИ  
УКРАЇНИ



Фармак



ISSN 2786-4898

Міністерство освіти і науки України  
Сумський державний університет  
Шосткинський інститут Сумського державного університету  
Центральний науково-дослідний інститут  
озброєння та військової техніки збройних сил України  
Публічне акціонерне товариство «Фармак»  
Управління освіти Шосткинської міської ради  
Виконавчий комітет Шосткинської міської ради

## COLLECTION OF RESEARCH PAPERS

of the 8th International Research and Practical Conference

### CHEMICAL TECHNOLOGY: SCIENCE, ECONOMY AND PRODUCTION



## ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

VIII Міжнародної науково-практичної конференції  
**ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ:  
НАУКА, ЕКОНОМІКА ТА ВИРОБНИЦТВО**

(м. Шостка, 27-29 листопада 2024 року)



Суми

Сумський Державний Університет

2024

УДК 66.01

Редакційна колегія:

Головний редактор Закусило Р.В., доцент кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н., доцент.

Заступник головного редактора Павленко О.В., завідувач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.т.н.

Відповідальний секретар Скуба Ю.Г. фахівець кафедри економіки та управління Шосткинського інституту Сумського державного університету.

Члени редакційної колегії:

Кравець В.Г. – професор кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, д.т.н., професор;

Худолей Г.М. – завідувач кафедри системотехніки і інформаційних технологій, к.т.н;

Тур О.М. – доцент кафедри економіки та управління, к.е.н.;

Тимофіїв С.В. – ст. викладач кафедри хімічної технології високомолекулярних сполук, к.х.н.;

Пригара І.О. – ст. викладач кафедри економіки та управління, к.е.н.

Збірник наукових праць VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», м. Шостка, 27 - 29 листопада 2024 року. – Суми : Сумський державний університет, 2024. – 242 с.

ISSN 2786-4898.

Збірник містить наукові праці учасників VIII Міжнародної науково-практичної конференції «Хімічна технологія: наука, економіка та виробництво», що складаються з узагальнених матеріалів науково-дослідних робіт науковців різних галузей виробництв та наукових закладів України.

У збірнику висвітлюються актуальні питання спеціальної хімічної технології і виробництва боєприпасів, утилізації відходів виробництв різних галузей, енергозбереження, моделювання технологічних процесів, соціально-економічні аспекти виробництва та природокористування в умовах війни.

Збірник корисний робітникам хімічної промисловості, науковим співробітникам, аспірантам і студентам спеціальностей хіміко-технологічного та соціально-економічного профілів, фахівцям інформаційних технологій виробництва.

Наукові праці учасників конференції подаються в авторській редакції.

© Шосткинський інститут  
Сумського державного університету, 2024  
© Сумський державний університет, 2024

## ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ СУЧАСНИМИ ОКИСНИМИ МЕТОДАМИ

**М.О. Коряшкіна, І.В. Косогіна**

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
[koriashkina.maryna@iit.kpi.ua](mailto:koriashkina.maryna@iit.kpi.ua)

Фармацевтична галузь відіграє критичну роль у забезпеченні охорони здоров'я населення та є одним із стратегічно важливих секторів економіки України. За даними Державної служби статистики, у 2021 році в Україні функціонувало понад 110 фармацевтичних підприємств, які виробляли широкий спектр лікарських засобів [1]. Однак, з початком повномасштабного військового вторгнення Росії в Україну в лютому 2022 року, фармацевтична промисловість зіткнулася з безпрецедентними викликами.

В умовах війни виробництво лікарських засобів набуло особливого значення для забезпечення національної безпеки та охорони здоров'я. Фармацевтичні підприємства були змушені адаптуватися до нових реалій: перебої з постачанням сировини, проблеми з логістикою, енергетичні обмеження та загрози безпеці персоналу. Незважаючи на ці труднощі, українська фармацевтична промисловість продемонструвала неймовірну стійкість та гнучкість, продовжуючи забезпечувати населення необхідними ліками.

Водночас, в умовах економічної нестабільності та обмежених ресурсів, особливої актуальності набуло питання ощадливості виробництва. Фармацевтичні підприємства змушені оптимізувати свої виробничі процеси, мінімізувати витрати та максимально ефективно використовувати наявні ресурси. Це стосується не лише виробництва лікарських засобів, але й супутніх, проте не менш важливих процесів, зокрема очищення стічних вод.

Процес виробництва фармацевтичної продукції є багатоступеневим і високотехнологічним. На кожному етапі, від синтезу активних фармацевтичних інгредієнтів (АФІ), які є основними компонентами лікарських засобів, до стерилізації кінцевого продукту, у стічні води підприємства потрапляють різноманітні забруднення.

Склад стічних вод таких підприємств відображає складність виробничих процесів. У воді можуть міститися органічні розчинники, як-от етанол, метанол і ацетон, які активно застосовуються на різних стадіях виробництва. Особливо небезпечними є залишки АФІ та їхні метаболіти, серед яких антибіотики, анальгетики та гормональні препарати [2]. Навіть у незначних кількостях ці речовини здатні негативно впливати на навколишнє середовище. Окрім цього, стічні води можуть містити неорганічні компоненти, зокрема важкі метали [3].

До складу стічних вод також входять допоміжні речовини: целюлоза, крохмаль і цукри, дезінфікуючі та миючі засоби, що використовуються для обробки обладнання, хлорвмісні сполуки, четвертинні амонієві сполуки і поверхнево-активні речовини [4]. Також у стічних водах можуть бути міститися залишки буферних розчинів, барвників, ароматизаторів, мікрочастинки активних та допоміжних речовин, а також біологічні забруднювачі – білки, ферменти та мікроорганізми [5]. Варто відзначити, що склад стічних вод значно залежить від специфіки виробничого процесу на кожному окремому підприємстві.

Дослідження, описане у роботі, зосереджено на видаленні зі стічної води барвників, що широко використовуються при виробництві таблетованих лікарських засобів, сиропів тощо.

У цьому контексті особливої актуальності набувають сучасні окисні методи очищення стічних вод. Ці методи базуються на генерації високореактивних частинок, здатних окиснювати широкий спектр органічних забруднювачів, особливо демонструють високу ефективність у розкладанні барвників та органічних лікарських додатків, які часто присутні у стічних водах фармацевтичних підприємств. Наприклад, дослідження показують, що застосування передових окисних процесів може забезпечити деградацію до 99% таких стійких забруднювачів, як антибіотики та гормональні препарати [6].

Серед найбільш перспективних окисних методів очищення стічних вод фармацевтичних підприємств виділяються озонування та реактив Фентона. Озонування базується на використанні озону ( $O_3$ ) як потужного окисника. Озон здатний реагувати з широким спектром органічних сполук, розкладаючи їх до простіших і менш токсичних форм. Перевагами озонування є висока ефективність видалення кольору та запаху зі стічних вод, відсутність утворення хлорорганічних сполук, а також додатковий дезінфікуючий ефект [6]. Однак, метод має і певні недоліки, такі як високі енергетичні витрати на генерацію озону та необхідність точного контролю процесу для запобігання утворенню токсичних побічних продуктів.

Реактив Фентона, в свою чергу, є системою, що складається з пероксиду водню ( $H_2O_2$ ) та іонів заліза ( $Fe^{2+}$ ) як каталізатора. Ця система генерує високореактивні гідроксильні радикали ( $OH\cdot$ ), які здатні окиснювати широкий спектр органічних забруднювачів. Перевагами реактиву Фентона є відносно низька вартість реагентів, простота застосування та висока ефективність при очищенні стічних вод з високим вмістом органічних забруднювачів. Проте, метод вимагає точного контролю рН середовища та може призводити до утворення значної кількості залізовмісного осаду, що потребує подальшої утилізації [7].

Обидва методи - озонування та реактив Фентона - мають потенціал для ефективного очищення стічних вод фармацевтичних підприємств, особливо в комбінації з іншими методами очищення. Їх застосування дозволяє досягти високого ступеня деградації специфічних фармацевтичних забруднювачів, які не піддаються ефективному видаленню традиційними методами.

У світлі вищезазначеного, дослідження та впровадження сучасних окисних методів очищення стічних вод фармацевтичних підприємств набуває особливої актуальності для України. Це не лише сприятиме підвищенню екологічної безпеки виробництва лікарських засобів, але й дозволить оптимізувати використання водних ресурсів, що є критично важливим в умовах економічних обмежень та екологічних викликів, з якими стикається країна [7].

Таким чином, метою даної роботи є дослідження ефективності та оптимізація застосування сучасних окисних методів, зосереджуючись на методі із застосуванням реактиву Фентона, для очищення стічних вод фармацевтичних підприємств України, з урахуванням специфіки їх складу, економічних аспектів та екологічних вимог. У рамках експерименту було досліджено співвідношення компонентів реактиву Фентона для мінімізації кількості окисника та часового ресурсу обробки стічних вод.

Дослідження проводились на модельних зразках води з вмістом барвника активного блакитного  $1 \text{ мг/дм}^3$  в статичних (рис. 1) та динамічних (рис. 2) умовах. Окисна обробка проводилась з використанням УФ-опромінювача.

Як каталізатор використовували розчин  $\text{FeSO}_4$  з концентрацією  $1 \text{ мг/дм}^3$ .

Першим етапом експерименту обрано дослідження впливу вмісту каталізатора  $\text{Fe}^{2+}$  для доочищення фармацевтичних стічних вод та вибір оптимальної кількості окисника у співвідношенні до іонів заліза задля ефективного та ресурсозберігаючого очищення стічної води у статичних умовах з використання ультрафіолетового опромінення УФ-лампи марки Ecosoft UV E-360 потужністю 24 Вт.

У ході дослідження виявлено, що оптимальним співвідношенням концентрацій пероксиду водню та іонів  $\text{Fe}^{2+}$   $[\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{Fe}^{2+}] = 1,4 \cdot 10^6$ . Тривалість окиснення – 5 хв. Менша концентрація заліза не забезпечує достатнього для скиду у каналізацію ступеня очищення води, а надлишок іонів заліза провокує появу додаткового забарвлення води, що знижує показник ступеня очищення. Ступінь очищення модельних зразків води оцінювався спектрофотометричним методом на приборі марки ULAB 101 (виробник Китай), довжина хвилі 640 нм. Вимір проводився у кюветі з товщиною шару 50 мм.

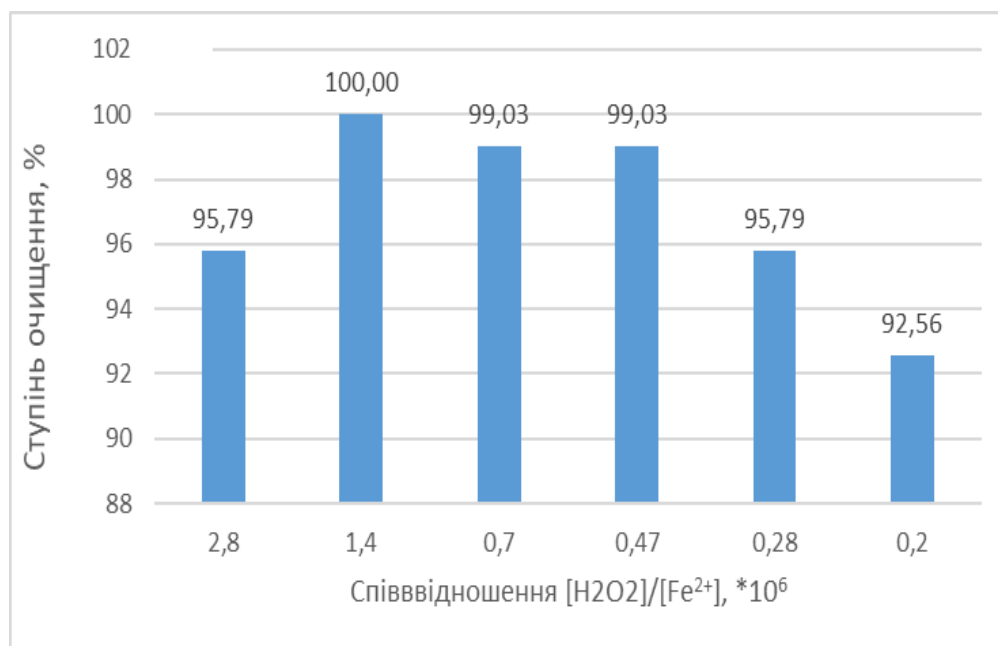


Рисунок 1 – Вплив співвідношення компонентів окисної системи на ефективність очищення модельних зразків води від барвника активного блакитного концентрацією  $1 \text{ мг/дм}^3$  в статичних умовах

Подальші дослідження присвячені вибору оптимальної тривалості окиснення у динамічних умовах, також із використанням проточної УФ-лампи марки Ecosoft UV E-360 з потужністю 24 Вт, та довжиною хвилі 360 нм.

Аналізуючи отримані дані (рис. 2) можна стверджувати, що в динамічних умовах доцільним співвідношенням реагентів також є використання співвідношення компонентів окисної системи  $\text{Fe}^{2+} [\text{H}_2\text{O}_2] / [\text{Fe}^{2+}]$  на рівні  $1,4 \cdot 10^6$ . Максимальний ступінь очищення, рівний 100%, було досягнуто вже через 5 хвилин контактування. Отже, продовжувати процес далі або збільшувати концентрацію реагентів є недоцільним.

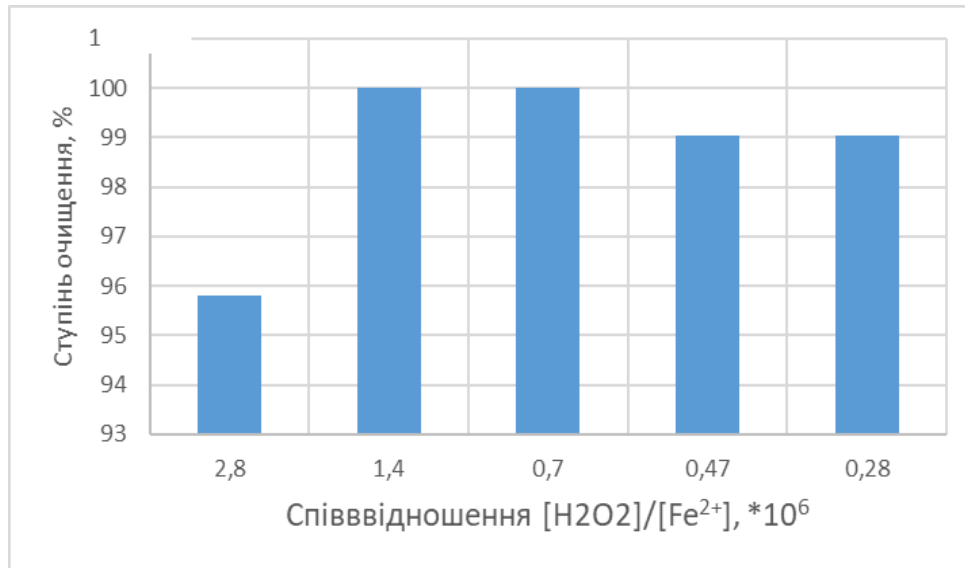


Рисунок 2 – Вплив часу окисної обробки на ефективність очищення модельних зразків води від барвника активного блакитного концентрацією 1 мг/дм<sup>3</sup>

Отже, максимальний ступінь очищення, рівний 100% реально досягти при співвідношенні  $[H_2O_2]/[Fe^{2+}]$  на рівні  $1,4 \cdot 10^6$ , як для статичних, так і для динамічних умов експерименту. Подальше збільшення вмісту іонів заліза в системі провокує вторинне забруднення випробуваної води.

#### Список літературних джерел

1. Державна служба статистики України. URL: : [www.ukrstat.gov.ua](http://www.ukrstat.gov.ua)
2. ТОКСИКОЛОГІЧНА ХІМІЯ // Ніженковська І.В., Вельчинська О.В., Кучер М.М. – К.: ВСВ «Медицина», 2012. – 372 с.
3. ATSDR — Case Studies in Environmental Medicine: Toluene Toxicity U.S. Department of Health and Human Services (public domain). URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/csem/toluene/>
4. УкрХімАналіз. Отруйні речовини у воді. URL: <https://himanaliz.ua/uk/otruyni-rechovini-u-vodi/>
5. УкрХімАналіз. Ліки в питній воді. URL: <https://himanaliz.ua/uk/liki-v-pitniy-vodi/>
6. Khetan S.K., Collins T.J. Human pharmaceuticals in the aquatic environment: a challenge to green chemistry // 2007. Chem. Rev. №107, P.2319-2364.

Технологія активного окислення (АОП). URL: <https://www.waterlight.pro/uf-i-ozonovi-tehnologiyi/tehnologiya-aktyvnogo-okyslennya-aops/>