

**РЕЦЕНЗІЯ**  
на дисертаційну роботу  
**ДОВГОЛАПА СЕРГІЯ ДМИТРОВИЧА**  
на тему «Переробка відходів з використанням феритних матеріалів для захисту довкілля»,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань 10 – Природничі науки  
за спеціальністю 101 – Екологія

**Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота ДОВГОЛАПА С.Д. присвячена актуальній проблемі зниження екологічних ризиків при функціонуванні підприємств металургійної галузі шляхом комплексного підходу до очищення рідких токсичних відходів феритним методом з подальшим використанням отриманих феритних матеріалів для знешкодження газових викидів.

Зацікавленість в останній час питаннями переробки рідких скидів, що містять іони важких металів, пов'язана з недосконалістю існуючих технологій очищення стоків, оскільки невирішеною проблемою залишається переробка та повторне використання вторинних відходів, зокрема кислих розчинів та твердих осадів. Крім того, рівень очищення стічних вод і, зокрема, регенерації кольорових металів в Україні становить трохи більше 10 %. А території, які мають найбільше антропогенне навантаження на водні об'єкти, внаслідок концентрування індустріальних підприємств, характеризуються також високими концентраціями монооксиду вуглецю у атмосферному повітрі.

Тому пошук комплексного рішення по зменшенню екологічних ризиків, щодо забруднення рідкими відходами та газовими викидами промислових підприємств є актуальним питанням сьогодення і стало предметом даної дисертаційної роботи.

**Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Обґрунтованість та достовірність наукових результатів не викликає сумнівів, оскільки вони базуються на критичному аналізі літературних джерел, ретельно проведеному експерименті з використанням сучасних фізичних та фізико-хімічних методів дослідження: іонообмінного, електрохімічного, феритного методів очищення води, термokatалітичного методу газоочищення; мікрорентгеноспектрального аналізу зламу та поверхні при застосуванні скануючої електронної мікроскопії з використанням SELMI PEM-106I, якісного рентгенофазового аналізу на дифрактометрі Rigaku Ultima IV. Для побудови карт забруднень України токсичними полутантами застосовували платформу Bing©GeoNames, Microsoft, TomTom. Для візуалізації конструктивних особливостей розташування каталітичної системи в промислових масштабах та створення 3D-моделі реактора використовували програмне забезпечення Blender 4.0. Для розрахунку розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосфери використовували програмне забезпечення "ЕОЛ 2000".

Наукова новизна одержаних результатів полягає у вирішенні наукової задачі комплексного використання феритного методу для очищення небезпечних рідких відходів металургійного та металообробного виробництва та знешкодження токсичних газоподібних полутантів, коли вперше було:

- визначено параметри, що впливають на ефективне концентрування сульфату заліза (II) та сульфатної кислоти в процесі електролізу кислих залізосульфатвмісних відходів в двокамерному електролізері;

- визначено вплив концентрацій розчинів, часу електролізу, виду аноду, сили струму на процес отримання сульфату заліза (III) при використанні двокамерного електролізера;

- проведено розділення залізосульфатвмісних відходів у трьохкамерному електролізері з двома аніонообмінними мембранами;

- розроблено новітні марганець-феритні каталізatori на доступному Са клиноптилолітовому носії, отримані з ферату калію, сульфату марганцю та залізосульфатвмісних відходів, що забезпечують найвищий ступінь конверсії монооксиду вуглецю;

- отримано каталітичні системи окиснення монооксиду вуглецю на керамоволокнистому носії багаторазового використання з нанесеними шляхом просочування феритними матеріалами;

- проведено оцінку канцерогенного та неканцерогенного ризику для здоров'я експонованого населення, що зазнає впливу від забруднення атмосферного повітря викидами від стаціонарних джерел діючого підприємства ПрАТ «Укрграфіт» в результаті реалізації технології окиснення монооксиду вуглецю феритними каталізаторами.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі екології та технології рослинних полімерів КПІ імені Ігоря Сікорського та у корпорації «Науковий парк «Київська політехніка» на замовлення ПрАТ «Український графіт» у рамках науково дослідних робіт: «Наукові основи розширення фонду джерел водозабезпечення населення, усунення загроз національній безпеці України в екологічній сфері» (2022-2023 рр., номер держреєстрації 0122U001686), «Створення нових замкнутих технологій в промисловому та комунальному водоспоживанні» (2022-2023 рр., номер реєстрації 0122U201588), «Аналіз впливу матеріального і гранулометричного складу теплоізоляції печей прямого нагріву (Кастнера) на 23 регламент кампаній графітування» (2023 р., № 804/2380260/21) під керівництвом професора кафедри екології та технології рослинних полімерів д.т.н., доцента Іваненко Олени Іванівни.

Дисертаційна робота відповідає напряму прикладних наукових досліджень Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» «Створення високоефективних, екологічно чистих, енерго- та ресурсозберігаючих технологій і обладнання у машинобудуванні, хімічній, легкій, нафтопереробній промисловості, промисловості будівельних матеріалів, розробки об'єктно-орієнтовних систем конструкційно-технологічного моделювання та забезпечення якості й надійності прогресивної техніки».

Достовірність і новизна результатів дисертації ґрунтується на публікації отриманих результатів у виданнях, які відносяться до наукометричної бази даних Scopus, фахових журналів, апробації результатів досліджень на Всеукраїнських міжнародних та наукових конференціях. Висновки та рекомендації дисертанта є логічними та зроблені за результатами повного і об'єктивного аналізу технологічних процесів, які підлягали дослідженню.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання комплексного використання феритного методу для створення екологічно безпечної технології переробки рідких відходів металургійного виробництва з огляду високоефективного очищення стічних вод та результативного використання твердих відходів водоочищення для каталітичного знешкодження небезпечних викидів монооксиду вуглецю, в цілому виконано, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Довголапа С.Д. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 101 – Екологія та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Екологія».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача до пріоритетного наукового напрямку «Рациональне природокористування» із Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» № 2859-IX від 12 січня 2023 р.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Довголапа Сергія Дмитровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

**Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана академічною українською мовою з використанням наукового стилю. У роботі використано загальноприйнятні наукові технічні терміни. Стилiстика викладення матерiалiв досліджень, наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує логічність і доступність їх сприйняття.

Дисертація складається з вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 263 сторінки.

У вступі наведено актуальність роботи, сформульовано мету й завдання дослідження, висвітлено методи досліджень, наукову новизну і практичну значущість роботи, наведені дані щодо апробації, впровадження та публікації матеріалів дисертації.

У першому розділі зазначена основна сутність небезпеки для навколишнього середовища від скиду стічних вод гальванічного виробництва та наведена класифікація стічних вод гальванічного виробництва за критеріями їх утворення. Наведена характеристика методів очищення стоків гальванічного виробництва.

Зокрема розглянуті основі проблеми і перспективи вдосконалення традиційного реагентного методу, шляхом промислової утилізації осадів з використанням феритного методу.

Описано сучасні методи знешкодження стічних вод гальванічних виробництв, таких як електрохімічний, іонообмінний.

На основі аналізу та систематизації літературних джерел зроблено висновок, що є доцільним проведення дослідження, присвяченого електрохімічному очищенню залізу сульфатвмісних стоків з подальшим використанням розчинів сульфатів заліза (II) та заліза (III) для отримання феритних матеріалів як товарного продукту. Показано, що для розв'язання задачі знешкодження СО пропонується два способи, що базуються або на фізико-хімічних методах вилучення, або на термічному чи каталітичному окисненні. Однак, як фізико-хімічні способи, так і термоокиснення характеризуються високою енерго- і капіталомісткістю, при цьому не гарантуючи повне знешкодження СО. Тому найбільш актуальним є термокatalітичний метод окиснення монооксиду вуглецю на гетерогенних каталізаторах. Описані вже відомі рішення використання каталізаторів на основі феритних матеріалів в технологічних процесах знешкодження токсичного газу. Описані методи оцінки ризиків та їх характеристики, етапи дослідження канцерогенних ризиків з врахуванням оцінки сумарних ризиків, обумовлених одночасною дією кількох хімічних сполук, що сумарно присутні у викидах електродного виробництва.

У розділі містяться висновки і постановка задачі з створення безпечної технології переробки рідких відходів металургійного виробництва, що передбачає високоефективне очищення стічних вод та результативне використання твердих відходів водоочищення для каталітичного знешкодження небезпечних викидів монооксиду вуглецю.

У другому розділі дисертаційної роботи представлені об'єкти досліджень, що включають в себе опис, характеристику, властивості досліджуваних середовищ, матеріалів та реагентів, що використовувалися та представлені в наступних розділах дисертації. У розділі описані методології проведення іонообмінної та електрохімічної переробки рідких металовмісних відходів очищення води сорбційними методами. Наведені методики осадження феритних осадів та нанесення їх на носії з подальшим використанням в якості каталізаторів окиснення СО. Наведений перелік нормативних документів, на якому ґрунтувалися дослідження екологічних ризиків на ПрАТ «Укрграфіт».

У третьому розділі роботи представлені результати досліджень по іонообмінному очищенню сульфатвмісних кислих розчинів, що містять катіони феруму (II) та купруму (II), з використанням катіоніту Dowex HCR S/S у  $H^+$  - формі. Визначено ефективність регенерації катіоніту сульфатною кислотою з метою отримання концентрованих залізовмісних та мідьвмісних регенераційних розчинів, що підлягають переробці феритним методом з отриманням феритних частинок з максимальними магнітними властивостями. Показана можливість переробки регенераційних розчинів у двокамерному електролізері. Досліджено вплив концентрацій розчину сульфату заліза (II) в катодній камері та сульфатної

кислоти в анодній камері на процес розділення домішок з врахуванням заміни анодного матеріалу з титану на свинець. Досліджена можливість окиснення іонів заліза (II) в анодній камері двокамерного електролізера в присутності сульфатної кислоти в катодній камері. Показано, що використання трикамерного електролізера, а саме використання двох аніонообмінних мембран, дозволяє пришвидшити процес очищення стічних вод. Розроблена принципова технологічна схема переробки відходів гальванічного виробництва з комбінованим використанням іонообмінного, електрохімічного і феритного методів та подальшим використанням феритних осадів в якості каталізаторів для знешкодження СО або з можливістю безпечного захоронення. Розглянуто використання отриманого сульфату заліза (III) з концентрацією 20 г/дм<sup>3</sup> в якості товарного продукту – коагулянту в водоочищенні, що має екологічну доцільність та беззаперечну перевагу ефективної утилізації відходів гальванічного виробництва.

Матеріали третього розділу містять результати досліджень фізико-хімічного стану феритного матеріалу, одержаного з товарного продукту електродіалізу – концентрованого розчину сульфату заліза (III). Запропонована технологічна схема комплексного знешкодження промислових залізовмісних сульфатних розчинів з отриманням продуктів, придатних для повторного використання.

У третьому розділі представлені результати дослідження по застосуванню магнетиту, отриманого з залізосульфатвмісних розчинів, як сорбенту для видалення хроматів із стічних вод. Встановлено, що оптимальними умовами проведення процесу видалення з модельних розчинів сполук хрому (VI) за допомогою вискодисперсних часточок магнетиту, отриманих з залізосульфатвмісного розчину при співвідношенні концентрацій  $K=[Fe^{2+}]:[Fe^{3+}]=2$ , є проведення процесу за підвищеної температури та використанні магнетиту з витратою 20 мг на 1 мг  $Cr^{6+}$ .

У четвертому розділі дисертаційної роботи представлені результати досліджень каталізаторів для окиснення СО з димових газів. Визначено фазовий склад зразку цеоліту до та після термообробки, проведено мікрорентгеноспектральний аналіз поверхні та зламу модифікованого феритними матеріалами цеоліту. Представлено результати моделювання процесу окиснення СО. Створено 3D-модель багатокамерної печі випалу типу Рідгамера з конструкційними особливостями розташування каталітичних реакторів у вогневих каналах печі. Представлено результати досліджень активності волокнистих каталізаторів у реакції окиснення СО з концентраціями 1 -2 % залежно від нанесеного каталітично активного компонента - феритного матеріала без попередньої обробки. Проведено оцінку ефективності каталізаторів на керамоволокнистому носії. Розроблена схема розташування волокнистого каталізатора для знешкодження СО димових газів в печах графітування.

П'ятий розділ дисертаційної роботи присвячений дослідженню екологічних впливів забруднюючих речовин, що присутні у викидах ПрАТ «Укрграфіт». В розділі наведені основні технологічні процеси та їх шкідливі викиди із зазначеним складом. Наведена оцінка ризику діяльності для здоров'я експонованого населення та зроблена ідентифікація небезпеки щодо оцінки токсичності викидів

від стаціонарних джерел ПрАТ «Укрграфіт». Зроблений розрахунок розсіювання забруднюючих речовин в атмосфері з використанням автоматизованої системи розрахунку забруднення атмосфери «ЕОЛ-2000», та, як підсумок, наведені рекомендації щодо зниження ризиків.

Висновки і практичні рекомендації логічно впливають з виконаних досліджень, змістовні, мають теоретичне та практичне значення.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 8 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 5 публікацій у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus (третій квартиль (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports), 2 статті у додаткових матеріалах.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Особистим внеском здобувача в статтях є визначення ефективності застосування феритних каталізаторів для конверсії монооксиду вуглецю печей випалу; розрахунок параметрів течії газової суміші через реактор, завантажений феритним каталізатором на цеолітовому носії; розрахунок реактора каталітичного окиснення монооксиду вуглецю для реальної витрати димових газів печей випалу; визначення ефективності вилучення хроматів із стічних вод з використанням високодисперсних сорбентів з магнітними властивостями, що отримувались шляхом осадження з суміші розчинів сульфатів заліза (II) і заліза (III); визначення впливу умов отримання на дисперсність часточок магнетиту; визначення можливості концентрування сульфату заліза (II) в прикатодній області й сірчаної кислоти в прианодній області в дво- та трикамерних електролізерах з урахуванням концентраційної поляризації аніонообмінної мембрани; оцінка можливості отримання ферату калію для використання в процесах водоочищення.

Таким чином, наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. У роботі не наведено обґрунтування складу модельних розчинів для вивчення процесів іонообмінного вилучення іонів феруму (II) та купруму (II) із сульфатнокислих розчинів.

2. Доцільно було б оцінити вплив співвідношення вихідних концентрацій іонів феруму (II) та купруму (II) на ефективність сумісної сорбції на катіоніті Dowex HCR S/S у  $H^+$  - формі.

3. У роботі не зазначено, яким чином визначали вміст іонів феруму (II) та купруму (II) при сумісній сорбції на катіоніті Dowex HCR S/S у  $H^+$  - формі.

4. Доцільно було б супроводити матеріали досліджень електродіалізного знешкодження відпрацьованих залізосульфатвмісних гальванічних стоків з

отриманням товарного продукту рівняннями реакцій, що відбуваються у катодному та анодному просторі двох- та трьох-камерного електролізера.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів і не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

#### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Довголапа Сергія Дмитровича на тему «Переробка відходів з використанням феритних матеріалів для захисту довкілля» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 10 – Природничі науки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Довголап Сергій Дмитрович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 10 – Природничі науки за спеціальністю 101 – Екологія.

#### **Рецензент:**

доцент кафедри екології та технології  
рослинних полімерів  
КПІ імені Ігоря Сікорського,  
кандидат технічних наук, доцент



Олена ГЛУШКО



« 18 » квітня 2024 року

