

**ВІДГУК**  
офіційного опонента – доктора технічних наук, професора  
**Шаблій Тетяни Олександрівни** на дисертаційну роботу  
**Колегової Анастасії Сергіївни**  
**«Маловідходні екологічно безпечні технології очищення стічних вод**  
**від іонів важких металів»,**  
що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища  
(Галузь знань 18 – Виробництво та технології)

### **Актуальність теми дослідження**

Забруднення навколишнього середовища все більше набуває занепокоєння в суспільстві. Інтеграція нашої країни у напрямку Європейського Союзу не можлива без природоохоронних заходів, одним з яких є захист водних об'єктів від забруднення полютантами, найнебезпечнішими з яких є іони важких металів. Концентрування важких металів з часом погіршує санітарний стан поверхневих водних об'єктів, що призводить до отруєння живих організмів.

Основними джерелами забруднення важкими металами є виробничі стічні води. Причому основний внесок роблять недостатньо очищені стічні води гальванічних виробництв.

Не дивлячись на велику кількість досліджень з очищення стічних вод від іонів важких металів за допомогою іонітів, на даний час недостатньо вивчені процеси сорбції та десорбції суміші металів та їх електролітичне розділення.

Основний зміст роботи складають дослідження, які проводилися відповідно до наукового напрямку кафедри екології та природоохоронних технологій Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова. Наукова робота виконувалася в рамках наступних науково-дослідних програм: Загальнодержавної програми «Питна вода України на 2006–2020 роки»,

Регіональної програми «Розвиток водного господарства Миколаївської області на період 2013–2021 років»; «Загальнодержавна цільова програма розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпра на період до 2021 року»; «Розробка заходів та технологій захисту довкілля від забруднень»; «Інноваційні моделі і механізми управління проектами реконструкції та розвитку муніципальних систем водопостачання».

### **Ступінь обґрунтованості, достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій**

У дисертаційній роботі було чітко сформульовано мету та завдання, проаналізовано достатню кількість інформаційних джерел даної проблематики. Наукові результати, висновки та рекомендації є науково обґрунтованими, достовірними та визначаються високим науковим та методологічним рівнем. При проведенні досліджень використовували сучасне обладнання та методи. Для визначення концентрацій речовин використовували методи титриметричного, спектрофотометричного та фізико-хімічного аналізу. Достовірність результатів було підтверджено математичними методами обробки даних, математичного моделювання та статистичного аналізу.

Достовірність одержаних результатів та обґрунтованість наукових положень не викликають сумніву.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

Одержані наукові результати є важливими для подальшого удосконалення іонообмінних та електрохімічних методів очищення стічних вод від іонів важких металів.

Наукова новизна підтверджується наступним:

– вперше встановлено закономірність ефективної електроекстракції іонів міді, цинку, кадмію і нікелю та їх суміші на катіоніті КУ-2-8 в кислій та сольовій формах у діапазоні концентрацій 2,5-25 ммоль/дм<sup>3</sup> (5-50 мг-екв/дм<sup>3</sup>) та

встановлено умови електрохімічного видалення катіонів важких металів з розчинів в одно- та двокамерному електролізері;

– удосконалено модель Томаса для вихідних кривих сорбції важких металів на іоніті КУ-2-8 у кислій та сольовій формах і константи К цієї моделі для катіоніту в  $H^+$ - та  $Na^+$ -формах;

– удосконалено процес розділення іонів важких металів з регенераційних розчинів електроекстракцією в однокамерному електролізері та отримання металів у чистому вигляді;

– набули подальшого розвитку процеси розділення суміші металів в однокамерному електролізері, в результаті чого встановлено, що разом з електрохімічною екстракцією міді відбувається також незначне виділення кадмію, яке ускладнює процес розділення металів.

### **Практичне значення виконаного дослідження**

У роботі вдосконалені маловідходні технологічні схеми очищення стічних вод від іонів важких металів, які вирішують проблему забруднення довкілля. Розрахована та застосована математична модель Томаса для сорбції іонів металів дозволяє змоделювати процеси очищення стічних вод для виробничих масштабів.

Результати досліджень були апробовані та впроваджені на ТДВ «Миколаївський шиноремонтний завод», ТОВ «КОНУС-ВІДЕО» та у навчально-методичному процесі Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова для студентів спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища при проведенні лабораторних та практичних занять з дисциплін «Виробничі технології», «Технології утилізації відходів», «Технології очищення повітря та води».

**Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій у наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації**

За темою дисертаційного дослідження опубліковано 19 наукових праць, з них 5 статей у наукових фахових виданнях та 2 статті у наукових періодичних виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз, 1 стаття в інших наукових виданнях та 11 тез доповідей на міжнародних і всеукраїнських наукових конференціях.

Праці Колєгової А. С. відповідають п. 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167.

### **Структура та обсяг дисертації**

Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів, списку використаних літературних джерел, висновків. Обсяг основного тексту становить 120 сторінок, ілюстровано 74 рисунками, текст містить 18 таблиць, у бібліографії наведено 202 літературних джерела.

У вступі дисертаційної роботи обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета та задачі дослідження, представлені наукова новизна й практична цінність отриманих результатів, приведені об'єкт, предмет та методи дослідження, а також особистий вклад здобувача.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел за темою дослідження. Висвітлено основні джерела надходження важких металів до навколошнього середовища та загальні характеристики видів стічних вод, що містять іони металів. Розглянуто вплив досліджуваних іонів металів на довкілля та людину та методи їх вилучення з водних середовищ. Детально проаналізовано вибір перспективних методів очищення стічних вод від іонів міді, цинку, кадмію та нікелю, а саме іонний обмін та електрохімічний методи. Критеріями вибору були екологічність, економічність та простота у використанні.

У другому розділі описано об'єкти, методи досліджень та обробки отриманих даних. Розглянуто фізико-хімічні властивості іонообмінної смоли

КУ-2-8 та мембрани марки МА-41. Показано схеми установок та основні процеси для сорбції, десорбції та електрохімічного вилучення важких металів.

Третій розділ присвячений теоретичним та практичним методам сорбції та десорбції іонів міді, цинку, кадмію, нікелю та їх сумішей при концентраціях від 2,5 до 25 ммоль/дм<sup>3</sup> (від 5 до 50 мг-екв/дм<sup>3</sup>) на катіоніті КУ-2-8 в кислій та сольовій формах.

Незважаючи на теоретичні дані, що іони кадмію мають нижчу селективність на катіоніті КУ-2-8, ніж іони міді, цинку або нікелю, його сорбція була ефективною. Процес сорбції суміші іонів важких металів на іоніті в кислій та сольовій формах показала, що метали мають майже однакову селективність вилучення.

На основі експериментальних даних та кривих сорбції було розраховано математичну модель Томаса, що описує іонообмінні процеси в динамічних умовах. Криві сорбції отримані експериментальним шляхом високо корелують з теоретичними кривими моделі Томаса. Дану математичну модель доцільно застосовувати у виробничих масштабах очищення стічних вод.

Також було представлено результати регенерації іоніту сірчаною кислотою та сульфатом натрію при різних концентраціях. Показано, що дані метали досить ефективно десорбуються з катіоніту, але розділення суміші металів не відбувається. Тому доцільно разом з іонним обміном застосовувати електрохімічне розділення та вилучення металів.

У четвертому розділі показані результати ефективного електрохімічного вилучення іонів металів та їх сумішей. Електроліз проводили в одно- та двокамерному електролізерах із застосуванням титанового аноду вкритого оксидом рутенію, стального катоду та аніоннообмінної мембрани МА-41. Вилучення сульфату цинку в однокамерному електролізері у порівнянні з двокамерним відбувається неефективно при підвищенні кислотності розчину. Виділення сульфату міді та кадмію в одно- та двокамерному електролізерах вказує на досить високий вихід за струмом. Електроліз інших металів відбувався до повного їх вилучення з розчинів.

Також вивчено електроекстракцію суміші іонів міді та цинку, міді та кадмію, міді та нікелю в однокамерному електролізери. В усіх випадках осадження іонів міді відбувалось ефективно при незмінних концентраціях інших іонів металів. Кінцевим продуктом усіх процесів була сірчана кислота, яку можна використовувати повторно, та метали в чистому вигляді.

Як показали проведені дослідження електрохімічне вилучення металів можна застосовувати разом з іонним обміном в маловідходних екологічно безпечних технологічних схемах.

У цілому, дисертація є завершеною науковою працею, головні результати якої опубліковані та представлені в роботі.

### **Відсутність (наявність) порушень академічної добросередності**

За результатами перевірки дисертаційної роботи не виявлено порушень академічної добросередності. Встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових та ілюстративних запозичень.

### **Зauważення до дисертаційної роботи**

Позитивно оцінюючи виконане дослідження, вважаю необхідним зробити ряд зауважень та запитань автору дисертаційної роботи:

1. У списку публікацій здобувача є 2 статті, надруковані в науковому періодичному виданні іншої держави, яке входить до міжнародної наукометричної бази Scopus (Journal of Ecological Engineering), і безпосередньо пов'язані з темою дисертації. Чому дані публікації рознесені в різні категорії списку опублікованих праць?

2. У таблиці 3.1 наводяться результати визначення ХСК в умовах гетерогенного фотокatalізу та за допомогою арбітражної методики. Застосовані методики не описані у розділі 2. Чим відрізняються дані методики визначення показника ХСК?

3. Чим обґрутований вибір використання в роботі саме таких матеріалів: катіоніт КУ-2-8 та аніонообмінна мембрana марки МА-41?

4. Чим можна пояснити, що при дослідженні процесів сорбції суміші іонів міді та кадмію на катіоніті КУ-2-8 теоретично розраховані та експериментальні залежності концентрації металів від об'єму очищеного фільтрату не так сильно збігаються, як у випадку сорбції інших сумішей металів?

5. На с. 71 автор доводить, що застосування моделі Томаса дозволить прогнозувати ефективність іоніту не тільки при високих, але й при вилученні іонів важких металів при значно нижчих концентраціях. Які саме концентрації металів маються на увазі? У чому необхідність їхнього дослідження?

6. При електролізі розчину суміші сульфатів міді та кадмію в однокамерному електролізери (рис. 4.22-4.25) на останніх етапах процесу спостерігається суттєве зростання виходу за струмом кадмію. Не зовсім зрозуміла причина таких сплесків.

7. Чим можна пояснити, що при дослідженні процесів сорбції суміші розчинів, що містять іони міді та нікелю, дані іони мали практично однакову селективність при сорбції на сильнокислотному катіоніті КУ-2-8?

Відзначені недоліки роботи стосуються, переважно, характеру подачі матеріалу, не є визначальними й тому не можуть вплинути на загальну високу оцінку роботи.

### **Висновок про відповідність дисертаційної роботи вимогам МОН України**

Дисертаційна робота Колегової А. С. «Маловідходні екологічно безпечні технології очищення стічних вод від іонів важких металів» є завершеним науковим дослідженням, виконане автором самостійно на актуальну тему, яка вирішує важливе екологічне завдання та має прикладний характер.

Представлені у дисертації результати обґрунтовані, мають наукове та практичне значення для підвищення екологічної безпеки технологічних процесів виробництва на підприємствах, захисту водного середовища від іонів важких металів та отримання цих металів в чистому вигляді.

Зміст дисертації викладено доступно, логічно та аргументовано.

За актуальністю, науковою новизною, практичною цінністю, рівнем та обсягом проведених досліджень, якістю оформлення дисертаційна робота Колєгової Анастасії Сергіївни «Маловідходні екологічно безпечні технології очищення стічних вод від іонів важких металів», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища (галузь знань 18 – Виробництво та технології), відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України до кваліфікаційних наукових праць, а саме Наказу МОН України № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» від 12.01.2017 (зі змінами, внесеними від 31.05.2019) та «Порядку проведення експерименту з присудження доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 року № 167).

Вважаю, що здобувач Колєгова Анастасія Сергіївна заслуговує присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 183 – Технології захисту навколишнього середовища (галузь знань 18 – Виробництво та технології).

#### Офіційний опонент:

професор кафедри екології та  
технології рослинних полімерів  
Національного технічного університету  
України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»,  
д.т.н., професор

Підпис Тетяна ШАБЛІЙ засвідчує:

Всесоюзний секретар  
КПУ ім. Ігоря Сікорського

