

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Трус Інни Миколаївни

на тему «Створення наукових основ ресурсоефективних

екологічно-безпечних технологій використання води у промисловості»

подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю

21.06.01 – Екологічна безпека

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Проблеми забезпечення якісною водою характерні не тільки для України, а й для більшості країн світу. Особливою рисою української економіки є її висока водомісткість. Таким чином, інтенсивність використання водних ресурсів досягла рівня, який значно перевищує екологічну місткість водоресурсного потенціалу країни.

Наразі постійно зростає потреба високоякісної питної води для населення та технічної для промисловості. Актуальність та перспективність дисертаційної роботи пов'язана з надмірним засоленням джерел водопостачання та втратою їх водогосподарських функцій, що ускладнює водозабезпечення різних галузей економіки. Дисертаційна робота Трус І.М. присвячена розробці нових екологічно безпечних методів підготовки води в промисловості. Спираючись на вищевикладене, дисертаційне дослідження Трус І.М. щодо створення маловідходних технологій знесолення води є актуальним, оскільки, по-перше вирішує питання забезпечення промисловості якісною водою, а по-друге, дозволяє знизити тиск на водні джерела, що є привабливим з екологічної та економічної точки зору.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Доцільність та своєчасність дисертаційної роботи Трус І.М. підтверджує її зв'язок з темами науково-дослідних робіт, які виконувались за безпосередньою участю автора на кафедрі екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», згідно з планами держбюджетних науково-

дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: № 2733-п «Розробка нових реагентів, матеріалів та технологій водоочищення для замкнених водоциркуляційних систем» (2014–2015 рр., № держреєстрації 0114U000546), № 2929-п «Захист поверхневих вод від забруднення біогенними елементами та іонами важких металів» (2016–2017 рр., № держреєстрації 0116U003766), № 2113-п «Застосування електролізу при створенні безвідходних процесів очищення води» (2018–2020 рр., № держреєстрації 0118U002086); № 2504-п «Наукові основи розширення фонду джерел водозабезпечення населення, усунення загроз національній безпеці України в екологічній сфері» (2022–2023 рр., № держреєстрації 0122U001686); гранту Президента України для підтримки наукових досліджень молодих учених на 2017 рік «Створення маловідходної технології демінералізації природних та стічних вод» (розпорядження Президента України №78/2017-рп, № 0117U006126); наукового проєкту молодих вчених Ф83/50087 «Комплексна маловідходна технологія демінералізації стічних вод та очищення від йонів важких металів для забезпечення екологічної безпеки» (2018 р., № 0118U001605).

3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій сформульованих у дисертації та їх достовірність

Основні положення та висновки дисертації обґрунтовані достатньою кількістю якісно проведених досліджень, що в комплексі дозволило об'єктивно визначити вектори наукового пошуку. Робота має послідовну та логічну структуру і є комплексним та завершеним науковим дослідженням. Наукові положення і висновки дисертації базуються на результатах проведених експериментальних досліджень. Про достовірність отриманих даних свідчить узгодженість отриманих результатів із розрахунковими та експериментальними даними інших дослідників. Коректне порівняння отриманих автором результатів з літературними даними дає підставу характеризувати рівень наукових положень і висновків дисертації як досить аргументований, що відповідає сучасному стану розвитку теоретичних основ процесів водоочищення.

Основні наукові результати та положення дисертації представлені, доповідались та обговорені на вітчизняних та закордонних конференціях та

симпозіумах: Second international conference on sustainable futures: environmental, technological, social and economic matters (19–21 May, 2021, Kryvyi Rih, Ukraine), XXXVI Międzynarodowe Sympozjum im. Bolesława Krzysztofika – AQUA 2016 (02–03 czerwca 2016 roku, Plock), Conference Proceedings «The development of technical sciences: problems and solutions» (April 27–28, 2018, Brno: Baltija), XI Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (22–27 травня 2021 р., м. Чернігів), XXIV Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2021» (29–30 квітня 2021 р., м. Харків), міжнародному науковому симпозіумі “Тиждень еколога-2021” (18–20 жовтня 2021 р., м. Кам’янське), IV Міжнародній науково-технічній конференції водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг (20–22 жовтня 2021 р., м. Львів), VII Міжнародній науково-практичній конференції «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (25–26 листопада 2021 р., м. Київ), III Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Довкілля. Енергозбереження» (1–2 грудня 2022 р., м. Полтава), XV Всеукраїнській науковій конференції «Хімічні Каразінські читання – 2023» (24–26 квітня 2023 р., м. Харків), 5th International scientific and practical conference «Science, society, education: topical issues and development prospects» (12–14 квітня 2020 р., м. Харків).

4. Структура та зміст дисертації

Структура дисертації цілком узгоджується з її назвою і відповідає науковій спеціальності та меті, що поставлена для вирішення наукової проблеми. У дисертації стисло, логічно та аргументовано представлено зміст і результати роботи із достатньою кількістю посилань на публікації інших авторів.

Дисертація та автореферат оформлення відповідно до вимог ВАК України. Зміст та суть автореферату відповідає змістові дисертації та дає повне уявлення про наукову цінність та практичну значущість роботи.

Загальний обсяг дисертації становить 499 сторінок, містить 303 рисунки, 83 таблиці та 390 найменувань бібліографічних джерел, що відповідає чинним вимогам до докторських дисертацій.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, запропоновано мету і задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Також охарактеризовано особистий внесок здобувача у наукових публікаціях де викладено основний зміст роботи.

У першому розділі «Сучасні методи водопідготовки та очищення води у промисловості» наведено огляд інформаційних джерел щодо водозабезпечення регіонів України. Окреслені сучасні методи вилучення з води різноманітних забруднюючих речовин для забезпечення промислового водоспоживання та високої якості водних ресурсів. Обґрунтовано доцільність та перспективність технологій для забезпечення раціонального використання природних вод та повернення промислових стічних вод у виробництво з метою розширення існуючих фондів джерел водопостачання.

У другому розділі «Об'єкти та методи досліджень» представлено об'єкти і методи досліджень. Також подано характеристику вихідних матеріалів, наведено опис експериментального устаткування. Детально представлена методологія проведення експериментальних досліджень, що заснована на аналізі характеристик водних середовищ. Також подано методи і описані формули, для визначення основних кількісних та якісних параметрів дослідження.

У третьому розділі «Маловідходні процеси підготовки води для ресурсоефективних систем водокористування у промисловості» проаналізовано та визначено вимоги до води в системі та у підживлюючій воді на основі розрахунків з врахуванням хімічного складу, об'єму та корозійної агресивності води, критеріїв термостабільності. Досліджено вплив сумісного застосування алюмінієвих коагулянтів з вапном, содою чи лугом на ефективність пом'якшення гідрокарбонатно-кальцієвих вод. Встановлено умови ефективного очищення концентратів від сульфатів та їх пом'якшення при застосуванні відомих та синтезованих алюмінієвих коагулянтів. На основі результатів досліджень запропоновано спосіб стабілізаційної обробки води при використанні

слабокислотного катіоніту в кислій формі. Визначена перспективність використання високоосновних аніонітів у основній формі для пом'якшення вод, що містять високі концентрації аніонів сильних кислот. Розроблено економічно доцільний стабілізатор осадковідкладень на основі дисульфонату натрію. Розроблено спосіб підвищення стабілізаційного і протинакипного ефектів стабілізаторів накипоутворення для високомінералізованих вод при обробці ультразвуком чи озонуванням.

У четвертому розділі «Визначення параметрів процесів реагентного знекиснення води» наведено результати знекиснення води та встановлено, що при використанні мінералізованих вод при підвищених температурах даний метод є єдиним ефективним способом захисту сталі від корозії. Доведена необхідність застосування каталізаторів – йонів заліза чи кобальту у невисокій концентрації. Запропоновано спосіб знекиснення, що передбачає дозування у воду бісульфіту натрію та каталізаторів з подальшим фільтруванням води через аніоніт у сульфатній формі, що дозволяє зменшити витрату реагенту та підвищити фільтроцикл.

У п'ятому розділі «Оцінка ефективності фізико-хімічних процесів вилучення з води важких та кольорових металів» представлено результати застосування іонообмінного методу при вилученні важких металів із води. Показана перспективність застосування фільтрів змішаної дії для вилучення і концентрування йонів міді, кадмію, цинку та нікелю, що дозволяє вилучити дані катіони від ~ 50 мкг/дм³ до рівня $\sim 0,05$ мкг/дм³. Проведено підбір комплексону для повного вилучення іонів важких металів з води методами нанофільтраційного очищення. Наведені дані квантово-хімічних розрахунків методом неемпіричної молекулярної динаміки по програмі HyperChem для вибору та наукового обґрунтування реагентів, які застосовуються як ПАР. Запропоновані методи глибокого очищення води від іонів важких металів у присутності йонів жорсткості при застосуванні сорбентів на основі магнетиту.

У шостому розділі «Вилучення біогенних елементів із води для підживлення водоциркуляційних систем» представлено результати досліджень, спрямованих на вилучення біогенних елементів з води. Встановлена ефективність процесів окислення амонію в однокамерному і двокамерному електролізерах в залежності

від складу розчинів. Вивчено процеси сорбції нітратів і фосфатів на низькоосновних та високоосновних аніонітах, визначені умови ефективного їх вилучення. Запропоновані методи переробки регенераційних розчинів для виробництва рідких добрив. Обґрунтовано доцільність використання методів електрокоагуляції в процесах ефективного вилучення фосфатів із розчинів у вигляді осаду. Запропоновані принципові маловідходні технологічні схеми очищення води від нітратів та фосфатів.

У цьому розділі «Використання відходів водоочищення для отримання реагентів та будівельних матеріалів» дисертації показано перспективність для переробки концентратів застосування двокамерних електролізерів для отримання знесоленої води і окислених сполук хлору. Визначено умови застосування трикамерних електролізерів з двома аніонними мембранами в процесах демінералізації розчинів, які мають високий вміст хлоридів та сульфатів і значний рівень жорсткості. Запропоновано при використанні двокамерного електролізера з іонообмінною мембраною отримувати сірчану кислоту і луг та підвищувати їх концентрацію до ~ 45 %. Розроблені методи утилізації осадів, що утворюються при очищенні вод у складі будівельних матеріалів.

Висновки відтворюють узагальнену оцінку отриманих в дисертаційній роботі результатів, мають необхідні кількісні показники.

У додатках представлено допоміжний матеріал, що необхідний для повного сприйняття дисертації.

5. Наукова новизна отриманих у роботі результатів, сформульованих положень та висновків

Робота має наукову новизну, що полягає в розробці ефективних реагентів та технологій кондиціонування води для стабілізаційної обробки та зниження її корозійної активності, а також рекомендацій до водопідготовки підживлюючої води на основі характеристик визначених виходячи з вимог надійної експлуатації систем тепlopостачання та охолодження.

Серед найважливіших наукових положень слід зазначити теоретично обґрунтовану та експериментально підтверджену залежність корозійної активності

води від рівня мінералізації та концентрації в ній кисню, вплив характеристик води, каталізаторів на ефективність її знекиснення з допомогою реагентів та редокситів.

Уперше встановлено граничну ефективність іонного обміну, магнітосорбційного методу та зворотнього осмосу при вилученні з води ряду важких металів з урахуванням типу і умов використання комплексоутворювачів.

Автором визначено залежність ефективності сорбції важких металів від характеристик води, способу модифікування магнетиту в процесі його синтезу при глибокому очищенні вод від іонів важких і кольорових металів.

Доведено, що для досягнення раціональних якісно-кількісних показників процесу флотації доцільно використовувати квантово-хімічні розрахунки методом молекулярної динаміки по програмі HyperChem, що сприяє досягненню високої ефективності очищення за рахунок вибору високоселективних збирачів та оптимізації витрат реагентів.

Встановлено вплив щільності струму, рН середовища, мінералізації води на ефективність електрохімічного очищення води від амонію в одно- та двокамерних електролізерах, встановлено залежність ефективності електрокоагуляційного вилучення фосфатів із стічних вод від складу розчину і параметрів процесу електролізу. Визначено залежності виходу за струмом активного хлору, гіпохлориту натрію та інших окислених сполук хлору від концентрації хлориду натрію у воді, анодної щільності струму, типу електролізера, глибини знесолення розчину, визначено умови електролізу (анодної щільності струму, концентрації розчинів хлориду та сульфату натрію, рН середовища) концентрування лугу та сірчаної кислоти.

Запропоновано способи вилучення з води фосфатів та нітратів при використанні іонного обміну і зворотнього осмосу в залежності від складу водних розчинів, розроблено технологічні процеси переробки регенераційних розчинів у мінеральні добрива, що дозволило створити безвідходні процеси вилучення біогенних елементів із стічних та природних вод у ресурсозберігаючих технологіях.

6. Практична значимість роботи

Автором у роботі розроблені стабілізатори накипоутворення, модернізовано методи пом'якшення та демінералізації води, розроблені методи синтезу інгібіторів на основі сульфонатів, що перспективні при захисті обладнання від осадкоутворення та корозії у водоциркуляційних системах охолодження та тепlopостачання і які значно дешевші за існуючі. Розроблено технологію знекиснення води для парових і водогрійних котлів від корозії.

Розроблені принципові технологічні схеми очищення природних та стічних вод на основі розробки надійних, екологічно безпечних і економічно вигідних методів вилучення із води важких металів. Розроблено безвідходну технологію очищення води від біогенних елементів, що дозволяє отримати очищену воду та відходи, що придатні для подальшого використання в якості добрив. Запропоновані способи водоочистки з урахуванням раціонального водокористування спрямовані на захист підземних та поверхневих вод. Впровадження розроблених комплексних схем сприятиме екологізації промислових виробництв у відповідності до вимог міжнародних документів та стандартів. У висновках сформульовані основні результати проведених теоретичних і експериментальних досліджень.

7. Повнота викладення результатів роботи у наукових працях

Основні положення і висновки дисертаційного дослідження засновані на отриманих автором експериментальних даних та повністю викладені у наукових працях. Отримані результати не викликають сумнівів у їх достовірності, зроблені висновки досить аргументовані і спираючись на практичні і теоретичні основи. Основні результати відображено в 5 монографіях, 33 статтях у наукових фахових виданнях: 23 статті в періодичних виданнях, що індексуються наукометричною базою даних Scopus (серед яких, відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports 4 статті відносяться до другого квартиля Q2, 11 статей до третього квартиля Q3 та 8 статей до четвертого квартиля Q4), 5 патентах України на корисну модель. Результати досліджень автора представлені в 12 доповідях на конференціях міжнародного та національного рівня.

Зміст автореферату повністю відповідає основному змісту дисертації.

8. Мова та стиль дисертації

Дисертація написана державною мовою, загалом грамотно, легко сприймається. Виклад матеріалу в роботі має логічну послідовність, науково грамотний, розділи взаємопов'язані та цілком розкривають поставлену мету. Тема і зміст дисертації відповідають паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека.

9. Дискусійні положення та зауваження щодо дисертаційної роботи

Зауваження до дисертації.

До розділу 1.

1. В літературному огляді обмежено висвітлено внесок вчених України у розробку методів підготовки води для потреб промисловості.

2. На рисунку 1.7 фізико-хімічні методи розділені на реагентні, адсорбційні і т.д., а біологічні методи не розділені, наприклад на аеробні і анаеробні.

3. Характеризуючі динаміку водоспоживання на протязі останнього десятиліття, слід було б, на нашу думку, врахувати в аналізі ступінь водно-екологічного навантаження на водні об'єкти, а саме – відношення водозабору к природнім водним запасам, оскільки від даного фактору залежить якість даного ресурсу.

До розділу 2.

1. В табл. 2.1 «Характеристики водопровідної та артезіанської води» наведені не всі показники якості води, відсутні показники ХСК, бактеріологічні показники води.

2. Відсутні схеми деяких установок процесу.

До розділу 3.

1. Відомо, що при використанні катіонітів у кислій формі відбувається підкислення води, що підвищує її корозійну активність. Незрозуміла доцільність використання слабокислотних катіонітів у кислій формі для стабілізаційної обробки води.

2. В роботі сказано, що стабілізатор накипоутворення МДСН доцільно використовувати при $\text{pH} \geq 6,0-5,5$. А що при нижчих значеннях рН можливі відкладення карбонатів кальцію чи гідроксидів магнію.

До розділу 4.

1. В роботі пропонується використовувати сульфіти для надійного знекиснення води. Але неясно, а чи допустимі залишки сульфатів у знекисненій енергетичній воді.

До розділу 5.

1. У дисертації значну увагу приділено проблемам очищення води від іонів важких металів. Але неясно, як іони важких металів заважають використанню води у промисловості.

До розділу 6.

1. В дисертації аміак з води виділяли електрохімічним окисленням. А чи можливо амоній виділяти просто при хлоруванні води.

До розділу 7.

1. Автор дисертації пропонує відходи процесів водоочищення перетворювати у корисні продукти. В роботі є приклади даних підходів, але не систематизовано всі можливі підходи.

Висловлені зауваження мають уточнюючий характер і не зменшують загальної наукової цінності роботи, яка виконана на належному експериментальному і теоретичному рівні.

10. Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи

Автореферат за структурою та технічним оформленням відповідає встановленим чинним вимогам. В ньому відображені головні результати дисертаційної роботи та наукові здобутки автора. За змістом автореферат ідентичний до тексту дисертаційної роботи

11. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота Трус Інни Миколаївни «Створення наукових основ ресурсоефективних екологічно-безпечних технологій використання води у промисловості» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові наукові та практичні результати щодо теоретичного обґрунтування та нового вирішення науково-прикладної проблеми розширення фонду джерел водозабезпечення шляхом розроблення методів ефективного знесолення води та комплексної переробки утворених відходів у корисні продукти.

Автореферат за змістом ідентичний до тексту дисертаційної роботи, яка відповідає паспорту спеціальності 21.06.01.

Дисертація Трус І.М. за своєю актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю та достовірністю наукових положень, за отриманими новими науково-обґрунтованими результатами, висновками, практичними рекомендаціями та реалізацією в промисловості сприяє вирішенню проблеми водозабезпечення населення та промисловості. Дисертаційна робота відповідає вимогам пп.7,8,9 «Порядок присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 17 листопада 2021 р. № 1197, а її автор Трус Інна Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор, професор
кафедри охорони праці та навколишнього
середовища Київського національного
університету будівництва і архітектури



Олена Волошкіна

Підпис д.т.н., проф. О.С. Волошкіної
засвідчую,

Проректор Київського національного
університету будівництва і архітектури



Олександр Ковальчук