

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

Створення наукових основ ресурсоефективних екологічно-безпечних технологій використання води у промисловості є дуже актуальною темою в сучасному світі. За даними експертів, Україна належить до країн з найменшими запасами води в Європі. Інтенсивна антропогенна діяльність призводить до виникнення небезпечних рівнів екодеструктивного впливу на водні джерела та їх екосистеми. Проблема підсилюється також нерівномірністю розподілу водних ресурсів по території країни. За сучасних тенденцій водокористування проблема водозабезпечення промисловості та населення потребує вирішення.

Створення ресурсоефективних екологічно-безпечних технологій використання води у промисловості може допомогти зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити сталість використання водних ресурсів. Наукові дослідження та інноваційні проекти зі створення та впровадження ресурсозберігаючих технологій, екологічно безпечних виробництв можуть допомогти зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити сталість використання водних ресурсів.

У найближчій перспективі, важливо зосередитись на розробці та впровадженні новітніх технологій очищення води, зменшенні обсягів водокористування та використанні маловідходних технологій¹. Це може допомогти зменшити негативний вплив на довкілля та забезпечити сталість використання водних ресурсів.

Робота Трус Інни Миколаївни направлена на вирішення актуальної проблеми – розширення державного фонду джерел водозабезпечення населення України шляхом створення та реалізації проектів освоєння альтернативних

джерел водопостачання, захисту водних екосистем від шкідливого впливу забруднених стічних вод в умовах дефіциту водних ресурсів держави, військових дій, аварійних ситуацій та інших загроз національній безпеці України. У даній роботі розроблено ефективні технології для кондиціонування шахтних вод. Ці технології відзначаються низьким рівнем утворення відходів, що особливо актуально в умовах обмежених запасів прісних вод. Шахтні води часто скидаються в природні водойми без попереднього очищення, що призводить до погіршення якості води в них. Окрім цього, розроблені технології вирішують проблеми демінералізації артезіанської, ґрунтової та морської води. Цей підхід дозволяє отримувати технічну або питну воду високої якості, що важливо в умовах обмежених ресурсів прісної води. Додатково, розроблені технології включають в себе ефективні методи утилізації та знешкодження рідких та твердих відходів, які утворюються в процесах водопідготовки. Це не лише сприяє збільшенню ефективності водопідготовки, але й призводить до отримання корисних продуктів в результаті обробки відходів. Такий інтегрований підхід до управління водними ресурсами та відходами дозволяє досягти високих стандартів якості води і екологічної стійкості водних систем.

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

Про актуальність дисертаційної роботи свідчить той факт, що вона виконувалась за планами держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: № 2733-п «Розробка нових реагентів, матеріалів та технологій водоочищення для замкнутих водоциркуляційних систем» (2014–2015 рр., № держреєстрації 0114U000546), № 2929-п «Захист поверхневих водойм 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 проекту молодих вчених Ф83/50087 «Комплексна маловідходна технологія

демінералізації стічних вод та очищення від йонів важких металів для забезпечення екологічної безпеки» (2018 р., № 0118U001605), які виконувались на кафедрі екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», де здобувачка була виконавцем.

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

Наукові положення та висновки, викладені в дисертації І.М. Трус, підтверджуються за допомогою застосування фундаментальних наукових досягнень та сучасних стандартизованих методів досліджень. Ці результати говорять про вирішення прикладної проблеми водозабезпечення підприємств, зокрема розроблення ефективних методів демінералізації води.

Важливим аспектом є отримання значної кількості систематизованого матеріалу, отриманого під час вивчення процесів водопідготовки. Цей матеріал включає в себе результати використання сучасних методів обробки експериментальних даних, що підсилює науковий внесок дисертації.

Достовірність отриманих експериментальних даних додатково підтверджується використанням методів математичної обробки. Це важливо для забезпечення об'єктивності та точності результатів досліджень.

Крім того, результати дисертації І.М. Трус узгоджуються з висновками відомих вітчизняних і зарубіжних науковців, що свідчить про відповідність отриманих результатів вже існуючим знанням у галузі. Це зміцнює вагу та актуальність висновків, які висунуті в дисертаційній роботі.

Результати дисертації пройшли апробацію на 12 міжнародних і вітчизняних науково-технічних та науково-практичних конференціях.

Достовірність практичних рекомендацій підтверджена 5 патентами України на корисну модель та актами промислових випробувань.

Робота має послідовну та логічну структуру і є комплексним та завершеним науковим дослідженням.

4. Структура та зміст дисертації

Структура дисертації цілком узгоджується з її назвою, метою і завданнями дослідження. Загальний обсяг дисертації становить 499 сторінок, робота містить 303 рисунки, 83 таблиці та 390 найменувань бібліографічних

джерел, що відповідає чинним вимогам до докторських дисертацій. Зміст роботи та багатогранність висвітленої проблеми свідчить про високий рівень наукової компетентності автора.

У вступі охарактеризовано актуальність роботи, сформульовано мету та задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Також описано особистий внесок здобувача та наведено відомості щодо апробації та публікацій за темою дисертації.

У першому розділі наведено огляд інформаційних джерел, щодо тенденції розвитку та сучасного стану застосування методів водопідготовки для безперебійного забезпечення промислових підприємств водою. Акцентовано увагу на особливостях водозабезпечення певних регіонів України. Продемонстровано основні сучасні підходи щодо забезпечення раціонального використання водних ресурсів з послідуочим поверненням промислових стічних вод у виробництво для зниження антропогенного тиску на водні ресурси та підвищення джерел водопостачання.

У другому розділі наведені характеристики досліджуваних водних середовищ. Охарактеризовано методи проведення експерименту. Детально представлено перелік приладів і обладнання, що використовуються в процесі досліджень. Наведено схеми і опис лабораторних установок іонообмінного, електрохімічного, баромембранного і реагентних процесів очищення води, сформульовані методики реалізації даних процесів. Також подано методи математичної обробки даних з метою підтвердження достовірності отриманих результатів.

У третьому розділі визначено умови ефективного очищення концентратів від сульфатів при застосуванні алюмінійвмісних коагулянтів. Показано перспективність використання слабокислотного катіоніту в кислій формі для обробки прісних вод з незначною різницею між загальною та карбонатною жорсткістю для повної декарбонізації води, та в сольовій формі для її ефективного пом'якшення при підвищенні рН середовища. На основі результатів досліджень запропоновано технологію іонообмінного розділення аніонів на високоосновних аніонітах з повною переробкою утворених відходів у цільові продукти. Визначено вплив обробки ультразвуком чи озонуванням для підвищення стабілізаційного і протинакипного ефектів. Розроблено новий стабілізатор осадовідкладень на основі дисульфонату натрію.

У четвертому розділі визначено вплив каталізаторів на процеси знекиснення води. Встановити умови ефективного знекиснення води в динамічних умовах при застосуванні сульфату натрію і солей заліза або кобальту. Визначено умови повного вилучення кисню із води при використанні вод різної мінералізації.

У п'ятому розділі представлено результати іонообмінного, сорбційного, нанофільтраційного та флотаційного очищення води від важких металів. Запропоновані технологічні схеми глибокого очищення води від іонів важких металів при застосуванні сорбентів на основі магнетиту, які отримані при різних співвідношеннях концентрацій Fe^{2+} й Fe^{3+} в магнетиті та модифікованих сульфідом натрію, гуанідином і тіосемікарбазидом, що дозволяють отримувати очищену воду високої якості.

Шостий розділ присвячено розробці та дослідженню методів вилучення біогенних елементів з води. Проведено оцінку ефективності процесів окислення амонію в однокамерному і двокамерному електролізерах в залежності від складу розчинів. Досліджено можливість ефективного розділення сульфатів і нітратів іонообмінними методами. Показано придатність застосування низькоосновного та високоосновного аніонітів для очищення води від фосфатів. Розроблені методи електрокоагуляційного вилучення фосфатів із розчинів у вигляді осаду. Розроблені принципів маловідходні технологічні схеми очищення води від нітратів та фосфатів.

У сьомому розділі досліджено процеси переробки електрохімічним методом у двокамерному електролізері вод різної мінералізації з метою ефективного знесолення води та отримання окислених сполук хлору. Встановлено, що застосування трикамерних електролізерів з двома аніонними мембранами в процесах демінералізації розчинів, які мають високий вміст хлоридів та сульфатів і значний рівень жорсткості дозволяє ефективно знесолити воду. Показано, що в процесі електролізу можна отримувати сірчану кислоту і луг та підвищувати їх концентрацію ~ 45 % при використанні двокамерного електролізера з іонообмінною мембраною. Показана перспективність застосування осадів, що утворюються при очищенні мінералізованих, шахтних вод та інших вод як добавки-розширювача для розширливих і тампонажних цементів; заміника природного гіпсового каменю; активатора тверднення цементів з активними мінеральними добавками; добавки-прискорювача тужавлення в складі бетонів і розчинів, що призначені для торкретних робіт.

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

Трус І.М. особисто створено науково обґрунтований підхід щодо розробки ефективних реагентів та технологій кондиціонування води для стабілізаційної обробки і зниження її корозійної активності, а також рекомендацій до водопідготовки підживлюючої води на основі характеристик визначених виходячи з вимог надійної експлуатації систем теплопостачання та охолодження.

Уперше досліджено 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 осадоутворення та корозії у водоциркуляційних системах охолодження та теплопостачання 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.

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

1. У розділі 2 наведено формули для обчислення констант швидкості реакцій, які є загальновідомими і достатньо було на них посылатися.
2. На графіках 6.10 - 6.12 немає пояснення різких коливань концентрацій амонію, які на цих графіках є закономірними на певних проміжках часу.
3. У дисертації варто було представити дослідження впливу гідродинаміки та дифузійних процесів на утворення осадів.
4. В роботі згадуються інгібітори осадовідкладення на основі фосфонових, фосфінових кислот та поліфосфатів. проте доцільно було звернути увагу на екологічно чисті “зелені” інгібітори осадовідкладення, наприклад, поліаспартат (PASP), полієпоксиянтарна кислота, поліаспарагінова кислота.
5. Побудова математичної моделі для досліджуваних процесів могла значно поліпшити аналіз та прогнозування результатів.
6. Автором дисертації показано, що магнетит є високоефективним сорбентом іонів важких металів, який має феромагнітні властивості. Проте автором не досліджено ефективність процесу вилучення відпрацьованого сорбенту, що

може залежати від ряду факторів, таких як розмір частинок магнетиту, магнітна сила феромагнетика, концентрація магнетиту в середовищі, температура та інші. Також важливо було враховувати можливі ефекти взаємодії феромагнетика з іншими компонентами води.

7. У дисертаційній роботі та авторефераті є рисунки з дуже малим розміром шрифту, та низькою роздільною здатністю, наприклад Рис. 5.80-5.82.
8. У роботі зустрічаються неточності та помилки, зокрема на стор. 112 вжито "... *статистичних* умовах..." замість "... *статичних* умовах...".
9. В дисертації вказується про використання методів відновлення кисню, але також на стор. 89 зустрічається твердження: "Біологічні матеріали, такі як глюкоза, мають здатність хімічно *окислювати* розчинений кисень, але в цьому випадку швидкість реакції стає дуже низькою", проте йдеться про окисно-відновний процес згідно реакції $O_2 + 4e^- = 2O^{2-}$. У даному процесі кисень є окисником, а сам кисень відновлюється.

Дані зауваження не знижують загальної позитивної оцінки та значення дисертаційної роботи і рівня достовірності одержаних основних результатів дослідження

10. Відповідність автореферату змісту дисертаційної роботи

Автореферат відповідає стандартам структури та технічного оформлення, які визначені чинними вимогами. В ньому викладені основні результати та наукові досягнення автора, які відображають ключові аспекти дисертаційної роботи. Зміст автореферату ідентичний 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:

професор кафедри екології та
збалансованого природокористування
Національного університету
«Львівська політехніка»,

доктор технічних наук, професор,

Віра САБАДАШ

Підпис д.т.н., проф. В.В. Сабадаш
засвідчую

Вчений секретар Національного
університету «Львівська політехніка»

к.т.н., доц.



Роман БРИЛИНСЬКИЙ