

РІШЕННЯ ЩОДО ПРИСУДЖЕННЯ НАУКОВОГО СТУПЕНЯ ДОКТОРА НАУК

Спеціалізована вчена рада з присудження наукового ступеня доктора наук Д 26.002.05 Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України, прийняла рішення про присудження наукового ступеня доктора технічних наук Трус Інні Миколаївні на підставі прилюдного захисту докторської дисертації «Створення наукових основ ресурсоефективних екологічно-безпечних технологій використання води у промисловості», у вигляді рукопису за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека

20 лютого 2024 року, протокол № 1/2.

Трус Інна Миколаївна, 1987 р. народження, громадянка України, освіта вища: закінчила у 2011 р. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» за спеціальностями «Екологія та охорона навколишнього середовища» та «Менеджмент зовнішньоекономічної діяльності».

Наукові ступені і вчені звання:

- кандидат технічних наук з 2015 року;
- доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів з 2021 року.

Закінчила докторантуру у 2022 році при Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

Працює доцентом кафедри екології та технології рослинних полімерів в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» Міністерства освіти і науки України (м. Київ) з 2020 року до теперішнього часу.

Докторська дисертація виконана на кафедрі екології та технології рослинних полімерів в Національному технічному університеті України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського».

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

Рекомендовано до захисту 22.12.2023 р.

Здобувач має 55 наукових публікацій за темою дисертації, з них 5 монографій, 33 статті у наукових фахових виданнях з них 23 статті у періодичних виданнях, що індексуються наукометричною базою даних Scopus, серед яких, 4 статті відносяться до першого та другого квартиля (Q1 і Q2) та 11 статей до третього квартиля (Q3), 5 патентів України на корисну модель, 12 матеріалів та тез конференцій тощо.

Опоненти:

Волошкіна Олена Семенівна, доктор технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри охорони праці та навколишнього середовища дала позитивний відгук із зауваженнями:

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, 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 $pH \geq 6,0-5,5$. А що при нижчих значеннях pH можливі відкладення карбонатів кальцію чи гідроксидів магнію.

До розділу 4.

1. В роботі пропонується використовувати сульфати 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.

Кватернюк Сергій Михайлович, доктор технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека, професор кафедри екології та екологічної безпеки, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, дав позитивний відгук із зауваженнями:

- З роботи неясно, наскільки можливе утворення водонерозчинних карбонатів кальцію або гідроксидів магнію у порах високоосновного аніоніту при використанні його в основній формі для пом'якшення води.

- У чому перевага пом'якшення води на високоосновних аніонітах для пом'якшення води в порівнянні із реагентною обробкою води?

- Хотілось би почути конкретні рекомендації автора щодо перспективи застосування стабілізаторів накипоутворення в залежності від характеристик води.

- При вивченні процесів очищення води від іонів важких металів досліджувались і баромембранні процеси. Наскільки доцільно дані процеси застосовувати при вилученні важких металів із води?

- Наскільки допустимо використовувати магнетит модифікований високотоксичним гуанідіном при очищенні води, враховуючи її можливе скидання у водойми.

- В роботі приведено ряд процесів переробки сольових розчинів електродіалізом. Але не наведені варіанти отримання окислених сполук хлору придатних для промислового використання.

- Не зрозумілий принцип роботи трикамерного електролізера з двома аніонообмінними мембранами.

Сабадаш Віра Василівна, доктор технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології, професор кафедри екології та збалансованого природокористування, Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри екології та збалансованого природокористування, дала позитивний відгук із зауваженнями:

1. У розділі 2 наведено формули для обчислення констант швидкості реакцій, які є загальновідомими і достатньо було на них посперитися.

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), поліепоксіянтарна 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.

На докторську дисертацію та реферат надійшли відгуки:

1. **Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г. Шевченка.** Відгук підписала завідувачка кафедри хімії, технологій та фармації, д.т.н., проф. **Ірина КУРМАКОВА**. Відгук позитивний, є зауваження:

- Автором дисертації показано, що магнетит є високоефективним сорбентом іонів важких металів. Але наскільки реальним є ефективне виділення дрібнодисперсного магнетиту із води.

2. **Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».** Відгук підписав професор кафедри автомобілей і транспортної інфраструктури, д.т.н., проф. **Михайло ТАРАНЕНКО**. Відгук позитивний, є зауваження:

- Так, у роботі задекларовано подвійну мету – "створення наукових основ раціонального використання водних ресурсів..." та "ефективного захисту водних екосистем від забруднення". Але в загальних висновках про досягнення поставленої мети записано, що отриманий подальший розвиток проблеми знешкодження води та її очищення від шкідливих компонентів. З цього випливає, що поставлене автором мета досягнута тільки частково та нечітко проявлений ефективний захист водних екосистем.

- У п.1 висновків записано, що розроблена система критеріїв оцінки якості води. Але рішення цієї задачі не передбачено у переліку задач роботи а також авторефераті не розкрита сама система оцінки якості.

- В задекларованих задачах роботи відзначено необхідність дослідження процесів очищення води від біогенних елементів для отримання рідких добрив (п.5 за переліком задач) та оцінка ефективності процесів баромембранного очищення (п.6 за переліком задач). Але в загальних висновках не чітко стверджується наявність рішень щодо названих задач.

- Формулювання висновків за пп. 4-7, 12 важко порівняти з поставленими задачами. Ці формулювання мають суто конкретний характер за роблять

узагальнення більш важкими а такі узагальнення необхідні для вирішення актуальної науково-практичної задачі.

- Немає в авторефераті пояснення терміну «ефективність» запропонованих методів, способів та техпроцесів та інше, які пропонується порівнювати для оцінки корисного ефекту та витрат усіх видів.

3. ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (м. Дніпро). Відгук підписала професор кафедри технології неорганічних речовин та екології, д.т.н., доц. **Маргарита СКИБА**. Відгук позитивний, є зауваження:

В роботі згадуються інгібітори осадковідкладення на основі фосфонових, фосфінових кислот та поліфосфатів. Але з роботи неясно, які із згаданих речовин є найбільш перспективними при захисті водних циркуляційних систем від осадковідкладень. В рефераті зустрічаються деякі граматичні та стилістичні неточності. Назви рисунків є занадто громіздкими та важко сприймаються. Однак, ці зауваження не впливають на позитивне враження від дисертаційної роботи.

4. Київський національний університет технологій та дизайну. Відгук підписала завідувачка кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження, д.т.н., проф. **Вікторія ПЛАВАН**. Відгук позитивний, є зауваження:

На мою думку, не дуже вдало сформульований об'єкт дослідження. Об'єкт дослідження це процес або явище, що породжують проблемну ситуацію, на вирішення якої спрямована дисертація. В цьому контексті підвищення екологічної безпеки процесів водоспоживання не породжують проблемних ситуацій, а навпаки направлені на їх розв'язання.

Застосування таких інструментів фундаментальних наук, як квантово-хімічні розрахунки, безумовно підкреслює глибину наукових досліджень автора. Але на мою думку пункт наукової новизни, що стосується результатів квантово-хімічних розрахунків, сформульований не вдало. Сам по собі факт квантово-хімічних розрахунків не забезпечує підвищення ефективності водоочищення, хоча і сприяє правильному вибору високоселективних реагентів.

Крім того варто відмітити, що із приведених даних в рефераті складно обрати критерії за якими доцільно створювати принципову технологічну схему очищення води виходячи з тих чи інших характеристик води. Не зрозуміло з реферату чи проводили сорбцію-десорбцію важких металів у статичних умовах.

5. Дніпровський державний технічний університет. Відгук підписала професор кафедри хімічних та біологічних технологій, д.т.н., доц. **Анна ІВАНЧЕНКО**. Відгук позитивний, є зауваження:

З реферату не ясно, чому високий солевміст у воді стимулює корозію кольорових металів сильніше, як чорних металів. Чи завжди доцільно перед переробкою сольових розчинів розділяти хлориди і сульфати?

6. Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України. Відгук підписала старший науковий співробітник, д.х.н., ст.досл. **Тетяна ДУЛЬНЕВА**. Відгук позитивний, є зауваження:

До недоліків варто віднести відсутність математичної обробки за моделями Фрейдліха, Ленгмюра, Тьомкіна, Дубініна-Радущкевича, Редліха-Петерсона для опису параметрів сорбції іонів важких металів та для встановлення механізму сорбції на модифікованому магнетиті.

7. Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України (м. Київ). Відгук підписала провідний науковий співробітник, д.т.н., с.н.с. **Ольга ГЕТЬМАН**. Відгук позитивний, є зауваження:

До недоліків слід віднести певне нагромадження кривих на рисунках, що ускладнює їх читання. Також залишається незрозумілим, чому саме було вибрано інтегральні кінетичні криві для визначення кінетичної моделі.

8. Державний університет економіки і технологій. Відгук підписала завідувачка кафедри металургійних технологій Навчально-наукового технологічного інституту, д.т.н., проф. **Дар'я КАССИМ**. Відгук позитивний, є зауваження:

Автором не розглянуто і не запропоновано способи подальшого використання чи утилізації магнетиту в промислових умовах, у нових/вдосконалених чи вже існуючих технологіях водопідготовки, водоочищення; не обґрунтовано економічну ефективність застосування одержаного матеріалу в технологіях водопідготовки.

9. ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Відгук підписала начальник відділу підбору персоналу та розвитку молодіжних проєктів **Ірина РЯБІНKOVA**. Відгук позитивний, є зауваження:

В роботі зустрічаються одиниці вимірювання, які не входять до міжнародної системи одиниць Сі. Рисунки надто перевантажені кривими, що робить графіки нелегкими для сприйняття.

10. Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України». Відгук підписав в.о. завідувача відділу проблем поводження з радіоактивними відходами, д.т.н., с.н.с. **Дмитро ЧАРНИЙ**. Відгук позитивний, є зауваження:

Однак залишається не зрозумілим за яких умов та чим краще модифікувати магнетит. У роботі недостатньо приведено рекомендацій застосування розроблених сорбентів.

У дискусії взяли участь члени докторської ради:

Микола ГОМЕЛЯ, д.т.н., спеціальність 21.06.01, без зауважень;

Вячеслав РАДОВЕНЧИК, д.т.н., спеціальність 21.06.01, без зауважень;

Ганна ТРОХИМЕНКО, д.т.н., спеціальність 21.06.01, без зауважень;

Тетяна ШАБЛІЙ, д.т.н., спеціальність 21.06.01, без зауважень;

Валерій ЩЕРБИНА, д.т.н., спеціальність 05.17.08, без зауважень;

Ігор МКУЛЬОНОК, д.т.н., спеціальність 05.17.08, без зауважень;

Євген ПАНОВ, д.т.н., спеціальність 05.17.08, без зауважень.

При проведенні таємного голосування виявилося, що із 12 членів докторської ради, які взяли участь у голосуванні (з них 6 докторів наук за профілем дисертації), проголосували:

За 12 – членів докторської ради,
проти – немає,
недійсних бюлетенів – немає.

ВИСНОВОК СПЕЦІАЛІЗОВАНОЇ ВЧЕНОЇ РАДИ

Найбільш суттєві наукові результати, отримані особисто здобувачем, полягають у наступному:

У роботі здійснено дослідження, які спрямовані на вирішення проблем щодо раціонального використання природних ресурсів, розвиток та створення маловідходних технологій очищення води і водопідготовки для захисту від антропогенного та техногенного впливу й раціонального використання водних ресурсів, під час яких уперше:

- визначено залежності між характеристиками природних та стічних вод і ефективністю її знесолення, враховуючи вимоги до якості води у водоциркуляційних системах охолодження, теплопостачання та виробництва електроенергії, створено нові реагенти та технології кондиціонування води для стабілізаційної її обробки, зниження її корозійної активності;

- розроблено науково обґрунтований підхід до створення високоефективних маловідходних процесів демінералізації природних та шахтних вод, що передбачають переробку відходів з отриманням корисних продуктів та забезпечують розширення фонду джерел водопостачання за рахунок використання низькомінералізованих вод;

- визначено залежність корозійної активності води від рівня мінералізації та концентрації в ній кисню, вплив характеристик води, каталізаторів на ефективність її знекиснення при застосуванні реагентів та редокситів;

- виявлено закономірності вилучення з води ряду важких металів з урахуванням типу і умов використання комплексоутворювачів, встановлено граничну ефективність іонного обміну, магнітосорбційного методу та зворотнього осмосу;

- визначено вплив способу модифікування магнетиту в процесі його синтезу при глибокому очищенні води у водоциркуляційних системах охолодження та теплопостачання на ефективність сорбції важких та кольорових металів;

- на основі квантово-хімічних розрахунків методом неемпіричної молекулярної динаміки по програмі NupercChem науково обґрунтовано вибір реагентів, які застосовуються в якості ПАР, для досягнення високої ефективності процесу флотації та зниження втрат флотаційного реагенту;

- розвинуто та поглиблено сучасні наукові уявлення щодо закономірностей вилучення з води мінеральних сполук біогенних елементів

при використанні електролізу, електродіалізу, електрокоагуляційного очищення та іонного обміну в залежності від характеристик розчинів і параметрів процесів, розроблено технологічні рішення для переробки регенераційних розчинів в азотні та фосфорні добрива, що дозволило створити безвідходні процеси вилучення біогенних елементів із природних та стічних вод в ресурсозберігаючих технологіях;

- встановлено ефективність електролізу при переробці розчинів різної мінералізації та концентратів зворотньоосмотичного опріснення води, визначено параметри отримання концентрованих розчинів лугу, сірчаної кислоти, активного хлору та гіпохлориту натрію електродіалізом та розроблено спосіб переробки відходів у складі будівельних матеріалів.

Оцінка достовірності та новизни наукових результатів.

Наведені вище результати є новими. Їх новизна підтверджується доведеними основними положеннями, рекомендаціями та висновками дисертації. Одержані наукові результати відображені у публікаціях автора. Достовірність, обґрунтованість і надійність результатів, які покладені в основу висновків та рекомендацій, підтверджується застосуванням у процесі науково-дослідних робіт визнаних методик експериментальних досліджень. Отримані закономірності перевірені шляхом співставлення із відомими дослідженнями, які викладені у світовій літературі. Високий науковий рівень докторської дисертації підтверджується публікаціями у провідних закордонних виданнях кuartилів Q1 – Q3, що індексуються наукометричними базами Scopus та Web of Science, а також апробацією результатів досліджень на міжнародних наукових конференціях.

Значення для теорії та практики отриманих результатів.

На основі комплексу вимог щодо якості води водоциркуляційних систем теплопостачання і охолодження розроблено нові реагенти та інноваційні технології їх використання, що забезпечують надійну експлуатацію даних систем. Теоретично обґрунтовано підбір розроблених стабілізаторів накипоутворення, проведено модернізацію методів пом'якшення та демінералізації води, які підвищують ефективність роботи теплообмінного обладнання та забезпечують зменшення скиду води для продувки систем, що дозволяє перейти до замкнутих водоциркуляційних систем та підвищити рівень екологічної безпеки.

Розроблено методи синтезу економічно доцільних інгібіторів на основі сульфонатів для захисту обладнання від осадкоутворення та корозії у водоциркуляційних системах охолодження і теплопостачання. Розвинуто теоретичні уявлення про закономірності знекиснення води та запропоновано технологію знекиснення води для парових і водогрійних котлів як засіб захисту від корозії.

Створено підґрунтя для сталого розвитку промислових підприємств та отримання додаткових соціально-економічних, інноваційно-технологічних та екологічних ефектів за рахунок створення комплексних маловідходних технологій демінералізації води. Запропоновано принципові технологічні

схеми очищення природних та стічних вод від іонів важких металів, мінеральних сполук біогенних сполук на основі розроблених надійних, екологічно безпечних і економічно вигідних методів демінералізації води. Дані технології дозволяють зменшити техногенне навантаження на довкілля за рахунок підвищення якості знесоленої води та запобігти потраплянню відходів та шламів, за рахунок отримання з них корисних продуктів, що придатні для подальшого застосування.

Пропозиції щодо подальшого використання результатів.

Розроблені в роботі методи стабілізаційної обробки води доцільно впроваджувати в технологіях водопідготовки в системах промислового оборотного водопостачання, відкритих і закритих системах водоохолодження, що є умовою забезпечення ефективних технологічних процесів у даних галузях промисловості України.

Запропоновані рішення сприяють вирішенню проблем забруднення природних водойм біогенними елементами та підготовки якісної води шляхом створення ефективних комплексних маловідходних технологій очищення води, що сприятиме вирішенню проблеми забезпеченості водою всіх регіонів країни.

Отримані дані по закономірностях вилучення іонів важких металів з води у присутності іонів жорсткості при застосуванні сорбентів на основі магнетиту є основою для отримання надійних, екологічно-безпечних технологій глибокого очищення води, використання яких може бути застосоване не лише для підприємств АЕС, але і більш широкого переліку промислового сектора.

Встановлена можливість утилізації осадів реагентного пом'якшення води, засолених концентратів та елюатів. Отримані результати є перспективним для розвитку системного підходу до поводження з відходами та збільшення обсягу їх перероблення і повторного використання в процесі створення нових реагентів та продуктів у процесах водопідготовки і водоочищення.

Загальна оцінка дисертації.

Дисертаційна робота Трус Інни Миколаївни є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень набуло подальшого розвитку вирішення важливої науково - практичної проблеми підвищення екологічної безпеки та раціонального використання водних ресурсів шляхом застосування комплексних маловідходних технологій водопідготовки і водоочищення, що знижує техногенне навантаження на довкілля.

Дисертаційна робота «Створення наукових основ ресурсоефективних екологічно-безпечних технологій використання води у промисловості» повністю відповідає вимогам пп. 7-9 "Порядку 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 на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека.

На підставі результатів таємного голосування та прийнятого висновку докторська рада присуджує Трус Інні Миколаївні науковий ступінь доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – Екологічна безпека

Головуючий на засіданні
спеціалізованої вченої ради
з присудження наукового ступеня
доктора наук Д 26.002.05



Свген ПАНОВ

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
з присудження наукового ступеня
доктора наук



Олена ІВАНЕНКО

Вчений секретар
КПІ ім. Ігоря Сікорського



Валерія ХОЛЯВКО

“04” 03 2024 р.