

Голові спеціалізованої вченої ради
Д 26.880.01 Державної екологічної
академії післядипломної освіти та
управління д.т.н. Антонову А. В.

03035, м. Київ, вул. Митрополита
Василя Липківського, 35, корп. 2,
ауд. 310

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Степової Олени Валеріївни «Наукові основи запобігання забрудненню довкілля внаслідок внутрішньої та зовнішньої корозії сталевих нафтопроводів», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека

Актуальність теми дисертаційних досліджень. Одним із важливих факторів екологічної небезпеки є вітчизняні магістральні нафтопроводи, які часто знаходяться у вкрай аварійному стані. Такі застарілі та потенційно аварійні енергонапружені об'єкти можуть спричиняти і спричиняють значні матеріальні та екологічні збитки через локальні або масштабні витіки нафти, які, у свою чергу, призводять до забруднення довкілля та, відповідно, до підвищеного екологічного ризику. Причиною такої розгерметизації ділянок сталевих нафтопроводів, частіше за все, є зовнішні та внутрішні корозійні процеси. Відтак, передбачення та врахування таких електрохімічних процесів є науковим підґрунтям для встановлення залишкового ресурсу сталевих нафтопроводів, а також розроблення заходів щодо запобігання ризиків забруднення довкілля під час активної їх експлуатації. Зрозуміло, що ці ризики є найбільшими через забруднення ґрунтів, водойм і навіть атмосферного повітря внаслідок займання і горіння вилитої нафти. Ці питання ретельно досліджувались рядом вітчизняних і зарубіжних науковців, проте у їх роботах недостатньо уваги було приділено саме зниженню ризиків забруднення, унеможливлення таких аварійних витоків і суттєвого зменшення техногенного тиску на довкілля. Тому розвиток наукових основ запобігання забруднення навколишнього середовища внаслідок корозії нафтопроводів, дослідження і врахування особливостей електрохімічних процесів під дією різних факторів

впливу, створення передумов зменшення ризиків забруднення довкілля під час експлуатації зазначених техногенно-небезпечних об'єктів є вкрай актуальною науково-технічною проблемою забезпечення екологічної безпеки нафтотранспортної системи України; і, зокрема, Полтавської області, де вона досить сильно розгалужена та активно функціонує.

Зв'язок роботи із науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження виконувались відповідно «Основним засадам (стратегії) державної екологічної політики України на період до 2020 року», затверджених Законом України від 21. 12. 2010 р., №2818 –VI, а також в рамках наукових програм та завдань за темою «Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах» (державний реєстраційний номер 0117U003086), у виконанні якої здобувач брала участь.

Відповідність мети, об'єкту, предмету та завдань дослідження паспорту спеціальності. Метою дослідження було створення наукових основ запобігання забруднення довкілля, які враховують особливості та закономірності процесів внутрішньої та зовнішньої корозії сталевих нафтопроводів. **Об'єктом дослідження** виступають процеси внутрішньої та зовнішньої корозії діючих сталевих нафтопроводів як потенційні джерела забруднення довкілля внаслідок витоку нафтопродуктів, продуктів їх згоряння або вибуху. **Предметом дослідження** є вплив чинників на процеси внутрішньої та зовнішньої корозії діючих сталевих нафтопроводів.

Отже, за темою, метою, об'єктом, предметом та завданнями досліджень дисертаційна робота відповідає **паспорту спеціальності 21.06.01– екологічна безпека**, зокрема, у формулі (I) спеціальності: «збереження та відновлення навколишнього середовища», «оптимальних форм управління екологічною безпекою», «забезпечення сталого соціально-економічного розвитку та потенціалу держави», а також в напрямках досліджень (II): повна відповідність пунктам 1,2,4,5,6,8.

Загальна характеристика дисертаційної роботи. Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової-технічної проблеми створення наукових основ запобігання забрудненню довкілля внаслідок процесів внутрішньої чи зовнішньої корозії сталевих нафтопроводів шляхом застосування розроблених екологічно та економічно прийнятних інгібіторів корозії та осадковідкладень, а також розробці методики оцінювання залишкового ресурсу екологічно безпечної експлуатації зазначених нафтопроводів. Її зміст складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Матеріали дисертації викладено на 353

сторінках друкованого тексту. Список використаних джерел містить 291 найменування.

У вступі аргументовано висвітлено актуальність теми дисертаційного дослідження, наведена загальна характеристика роботи, сформульовано мету, об'єкт, предмет, завдання наукового дослідження, наукову новизну та практичну цінність роботи.

Перший розділ присвячено аналізу літературних джерел. Однією із проблем екологічної безпеки нафтопроводів є зовнішні та внутрішні корозійні процеси, що призводять до розгерметизації сталевих нафтопроводів та створення надзвичайних ситуацій. Наслідками зазначеного є значні екологічні збитки, пов'язані з втратою нафтопродуктів та значними впливами на компоненти довкілля: забруднення атмосферного повітря, ґрунтового та водного середовища тощо. Під час експлуатації нафтопроводів їх негативний вплив на довкілля відбувається у разі витоків нафти та нафтопродуктів, вибухів та пожеж через їх розгерметизацію за причиною зовнішньої та внутрішньої корозії металу труб. Тому забезпечення екологічної безпеки при транспортуванні нафти та нафтопродуктів – це пріоритетне завдання, що визначає екологічну безпеку держави.

Автором проведений ретельний аналіз існуючих заходів запобігання розвитку та протікання зовнішніх та внутрішніх корозійних процесів на поверхнях сталевих нафтопроводів. Відзначені недосконалості відомих методів та методик.

Встановлено, що наукові основи запобігання розвитку та протікання внутрішніх та зовнішніх корозійних процесів шляхом розроблення сучасних інгібіторів корозії та осадковідкладень та методики визначення залишкового ресурсу безпечної експлуатації сталевих нафтопроводів забезпечить екологічну безпеку та ефективність при транспортуванні вуглеводневої сировини.

У другому розділі описані об'єкти дослідження, методи дослідження, методики проведення експериментів та математичні методи обробки результатів та методи та прилади контролю процесів. У розділі наведено дані щодо ґрунтових середовищ, аналіз корозійної активності яких проведений в роботі. Наведено характеристику водних середовищ, що використовувались при проведенні корозійних випробувань. Представлені методи синтезу інгібіторів осадковідкладень та корозії металів у водно-нафтових сумішах. Наведено методику оцінювання ефективності інгібіторів корозії металів у мінералізованих водах. В розділі наведено також методику оцінювання корозійної активності ґрунтів по відношенню до сталі; методику визначення глибини корозії сталі під час роботи гальванопари; методику визначення

впливу ширини ділянки ураження на глибину корозії ділянки сталевих нафтопроводів.

Третій розділ дисертації присвячено моніторингу ґрунтів Полтавської області щодо їх корозійної активності відносно сталі нафтопроводів. На основі моніторингових та науково-технічних літературних даних проведено аналіз ґрунтів Полтавської області по магістральним трасам прокладання нафтопроводів щодо їх корозійної активності за рядом основних показників. Автором виявлено вплив агресивних розчинів ґрунтового середовища на ділянки пошкоджень ізоляційних покриттів сталевих нафтопроводів, а також на протікання корозійних процесів, побудовано карти ґрунтів за показниками їх корозійної активності на прикладі Полтавської області.

Встановлено, що екологічна безпека нафтопроводів визначається величиною ймовірності випадків забруднення довкілля внаслідок розгерметизації сталевих нафтопроводів, у тому числі із урахуванням зовнішніх та внутрішніх корозійних процесів. Для розрахунку ймовірності випадків забруднення довкілля внаслідок розгерметизації сталевих нафтопроводів запропоновано теорію надійності, відповідно якій аварійні витіки нафти розглядають як еколого-техногенний ризик, що призводить до порушення стійкості компонентів навколишнього середовища. Згідно зазначеної теорії показником надійності відновлюваних об'єктів, до яких відносять і нафтопроводи, є безвідмовність. Безвідмовність оцінюється ймовірністю безаварійної роботи, параметром потоку аварійних подій та проміжком часу безаварійної роботи. В розділі проведено розрахунок ймовірностей виникнення надзвичайних ситуацій, пов'язаних з витіком, згорянням або вибухами нафтопродуктів внаслідок розгерметизації нафтопроводів та шкідливим впливом на довкілля. Встановлено, що, зважаючи на значну протяжність нафтопроводів територією України, у середньому варто очікувати 1 аварію на 10 місяців (7500 годин). При цьому найбільшу небезпеку чинять нафтопроводи, які мають найбільшу протяжність, але треба враховувати також термін експлуатації трубопроводу.

У четвертому розділі автором проаналізовано корозійну активність мінералізованих вод та водно-нафтової суміші по відношенню до нелегованої сталі, їх стабільності щодо осадковідкладення та корозії. Розроблено нові інгібітори осадковідкладень на основі продуктів сульфонування диметилфосфінової кислоти та нітрилоксиетилдиметилфосфонової кислоти. Показано, що дані інгібітори наряду із кращими відомими інгібіторами забезпечують високу стабільність розчинів карбонату та сульфату кальцію при температурі до 95°C. Автором експериментально доведено, що більшість

відомих інгібіторів неефективні у мінералізованих водних середовищах, а у водно-нафтових сумішах кращими є інгібітори на імідазоліновій основі.

Автором синтезовано удосконалені інгібітори корозії металів на основі олії та поліетиленполіамінів, які містять імідазоліни, отримані шляхом безвідхідних технологій, і які за якістю не поступаються кращим відомим інгібіторам корозії сталі у водно-нафтових сумішах. Вони є перспективними, екологічно та економічно прийнятними при захисті нафтопроводів від внутрішньої корозії.

В п'ятому розділі за допомогою методів математичного моделювання розв'язане завдання визначення стаціонарного електричного поля, що виникає при роботі гальванопари з анодом на металі нафтопроводу в тріщині й катодом на металі трубопроводу під ізоляційним покриттям. Проведено дослідження отриманої залежності розподілу потенціалу на гетерогенному електроді, при якому автор доводить, що по мірі збільшення анодної ділянки максимальний розкид щільності струму між різними ділянками зменшується, тоді як нерівномірність його розподілу в межах однієї ділянки зростає. Вплив розміру анодної ділянки (ширини тріщини) в розподілі струму на гетерогенному електроді суттєво перевищує її власний розмір. Автором встановлено, що основний вплив на величину та розподіл потенціалу і швидкість корозії має різниця потенціалів на гетерогенній поверхні між катодною та анодною ділянками та електропровідність середовища.

Здобувачем розв'язана задача моделювання корозії поверхні нафтопроводу за умов кисневої деполяризації в умовах експлуатації трубопроводу на основі рівняння дифузії кисню, що доцільно застосовувати до тривимірної пористої системи, якою є ґрунт.

У шостому розділі отримано залежність для розрахунку глибини корозії на основі математичної моделі локальної електрохімічної корозії сталі трубопроводу в тріщині ізоляційного покриття, адекватність якої підтверджено експериментальними дослідженнями на малих сталевих зразках. Результати дослідження показали, що корозійні випробування узгоджуються з розрахунковими за значенням струму макрогальванопари та швидкості корозії.

В сьомому розділі автором розроблена методика, що дозволяє оцінити міцність конструкції на момент її обстеження, допустиме зменшення товщини стінки та допустимий тиск в трубопроводі з врахуванням зменшення товщини стінки внаслідок роботи макрогальванопари. Допустима залишкова товщина стінки нафтопроводу відповідає повному вичерпанню ресурсу конструкції. Запропоновано методику визначення залишкового ресурсу нафтопроводу за фактором корозії сталі в тріщині ізоляційного покриття, яка виконується шляхом врахування зменшення товщини стінки нафтопроводу, що вводиться в розрахунок.

Висновки до розділів та загальні висновки сформульовані достатньо чітко і вони відповідають змісту, головній меті та завданням дисертаційної роботи. У цілому, опонована дисертаційна робота є завершеним науковим дослідженням, в якому наведено вирішення актуальної наукової проблеми створення наукових основ запобігання забрудненню довкілля внаслідок процесів внутрішньої чи зовнішньої корозії сталевих нафтопроводів шляхом застосування розроблених екологічно та економічно прийнятних інгібіторів корозії та осадковідкладень, а також запропонованої методики оцінювання залишкового ресурсу екологічно безпечної експлуатації зазначених нафтопроводів. Висновки, зроблені у дисертації, є обґрунтованими і відповідають її змісту, а також висвітлюють ступінь досягнення мети та вирішення поставлених до роботи завдань.

Повнота викладу основних результатів дисертації в опублікованих працях. За результатами дисертаційної роботи було опубліковано 41 наукову працю, з яких: 3 монографії – за співавторства, 21 стаття, зокрема 17 статей – у наукових фахових виданнях з переліку МОН України, 5 статей – у виданнях, що індексуються наукометричними базами даних, серед яких 2 статті індексуються у Scopus, 2 статті у періодичних наукових виданнях інших держав, 1 патент України на корисну модель та 17 матеріалів доповідей у збірниках праць конференцій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в створенні наукових основ запобігання забрудненню довкілля внаслідок процесів внутрішньої чи зовнішньої корозії сталевих нафтопроводів шляхом застосування розроблених екологічно та економічно прийнятних інгібіторів корозії та осадковідкладень, а також запропонованої методики оцінювання залишкового ресурсу екологічно безпечної експлуатації зазначених нафтопроводів. Основними науково-обґрунтованими результатами є:

- вперше оцінено ймовірність виникнення випадків забруднення довкілля внаслідок протікання зовнішніх і внутрішніх корозійних процесів з розгерметизацією сталевих нафтопроводів, витоками нафтопродуктів, продуктами їх згоряння або вибухів, яка для нафтопроводів України становить 1 подію за 10 місяців протягом року;
- вперше науково обґрунтовано та визначено хімічний склад і схему безвідходного процесу синтезу екологічно прийнятних інгібіторів корозії металів АС-1 та АС-2 з відповідним вмістом рослинної олії, поліетиленполіамінів, які переважають відомі за економічними показниками щонайменше у 1,2 рази;
- вперше із застосуванням математичної моделі електрохімічної корозії сталі нафтопроводу в тріщині ізоляційного покриття розроблено розрахункову

методику визначення глибини корозії сталевому нафтопроводу при роботі макрогальванічної корозійної пари за впливу агресивного електролітичного розчину, а також методику розрахунку залишкового ресурсу його екологічно безпечної експлуатації, що дозволило прогнозувати розвиток корозійних процесів на сталевому нафтопроводі, планувати необхідні заходи щодо запобігання забрудненню довкілля;

- удосконалено неруйнівні методи контролю параметрів електрохімічної корозії сталевих нафтопроводів за наявності тріщин в ізоляційних покриттях в частині застосування запропонованої конструкції мідно-сульфатного електроду порівняння в експериментально-розрахунковій методиці оцінювання глибини корозії стінки нафтопроводу, що створило передумови прийняття обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на запобігання забрудненню довкілля внаслідок аварійних ситуацій на сталевих нафтопроводах та прилеглих до них територій;

- набуло подальшого розвитку використання математичного моделювання роботи макрогальванічної пари на сталевій ділянці під час локальної електрохімічної корозії сталевих труб в тріщинах ізоляційного покриття за умов впливу агресивних електролітичних розчинів, яке було покладено в основу запропонованої методики визначення залишкового ресурсу екологічно безпечної експлуатації сталевих нафтопроводів.

Важливість для науки і виробництва. Автором дисертаційних досліджень створені схеми синтезу екологічно та економічно прийнятних інгібіторів осадко відкладень і корозії металів та розроблена методика визначення залишкового ресурсу, що дає можливість раціонально спланувати ремонтні роботи, прогнозувати реальні строки роботи конструкції, переглянути режим експлуатації та запобігти забрудненню довкілля. Отримані результати дозволяють більш достовірно оцінити несучу здатність нафтопроводів, що працюють за умов агресивного середовища із тріщинами в ізоляційних покриттях, що дозволяє зменшити екологічні ризики через недопущення аварійних розливів нафти. Результати даної наукової роботи в комплексі з іншими дослідженнями дають змогу визначити потенційні екологічні загрози від корозії трубопроводів та обладнання при використанні або утилізації підтоварних вод нафти, а також розробити заходи по запобіганню виникнення шкідливих впливів на довкілля при розгерметизації нафтопроводів.

Шляхи використання наукових та практичних результатів роботи і ступінь їх реалізації. Створені схеми синтезу диметилсульфонатфосфінату натрію та нітрилоксиетилендиметилфосфінової кислоти із доступних реагентів, що є екологічно та економічно вигідними, та розроблена методика визначення залишкового ресурсу дає можливість раціонально спланувати ремонтні роботи,

прогнозувати реальні строки роботи конструкції, переглянути режим експлуатації та запобігти забрудненню довкілля. Результати даної наукової роботи, а саме спосіб прогнозування розвитку корозії трубопроводів з часом контакту металевих труб з агресивним електролітом неруйнівним способом впроваджено у ТОВ «Праймгаз».

Методика неруйнівного методу контролю процесів корозії металевих конструкцій об'єктів транспортування нафти впроваджено при виконанні робіт з держбюджетної тематики: «Ефективні конструктивно-технологічні рішення об'єктів транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів у складних інженерно-геологічних умовах».

Методика прогнозування розвитку корозії нафтопроводів з часом контакту металевих труб з агресивним електролітом неруйнівним способом впроваджена Науково-технічним центром Полтавського відділення Інженерної Академії України.

Окрім того, результати дисертаційного дослідження використані Полтавським національним технічним університетом імені Юрія Кондратюка в навчально-методичному процесі викладання дисциплін «Техноекологія» для студентів спеціальностей 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища» та «Математичне моделювання якості навколишнього середовища» для студентів спеціальностей 101 «Екологія», 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Відповідні акти впровадження подані у додатках дисертаційної роботи.

Оцінювання обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

Достовірність одержаних результатів підтверджується системним підходом до комплексного вирішення наукових та практичних задач, забезпечується використанням апробованих стандартизованих та сертифікованих методів досліджень, конкретною постановкою задач і детальним обґрунтуванням основних положень та висновків. Дослідження автора ґрунтуються на надійному фундаменті попередніх розробок теорії сталого розвитку, екологічної безпеки, електрохімії та інших наук.

Крім того, обґрунтованість результатів забезпечена реалізацією комплексних експериментальних досліджень оцінювання ефективності розроблених інгібіторів корозії сталі та осадковідкладень, оцінювання втрат металу на поверхні сталевих нафтопроводів, визначення залишкової товщини стінки.

Достовірність результатів підтверджує також високий ступінь кореляції та збіжності між експериментально визначеними параметрами стану екологічної

безпеки і розрахунками на основі відомих та запропонованих автором залежностей.

Оформлення дисертації відповідає ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" та вимогам Атестаційної колегії МОНУ України. Мова і стиль викладання дисертації і автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, позначені метою досліджень.

Апробація результатів дисертаційного дослідження. Відзначаємо достатність оприлюднення результатів. При цьому матеріали дисертації доповідались на багатьох конференціях міжнародного та всеукраїнського рівнів, а також висвітлені у відомих у науковому світі фахових журналах, зокрема, з екологічної безпеки.

Ідентичність змісту автореферату основним положенням дисертації.

Зміст автореферату повністю відповідає розділам дисертації та її основним положенням. Дисертація є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

Недоліки і зауваження до дисертації та автореферату.

1. Бажано було б у кінці VII розділу подати конкретні практичні рекомендації щодо зменшення і запобігання корозії, а також їх шкідливих і небезпечних впливів на довкілля.

2. С. 38. Якщо Ви порівнювали теоретичні положення (розрахунки, моделювання тощо) з результатами експериментальних досліджень, то яка збіжність (або розбіжність) цих порівняльних результатів ?

3. С. 83. і далі по тексту вживаються поняття атомної ваги металу. Це застаріла одиниця вимірювання. Потрібно писати «атомна маса», а там, де необхідно, то і «маса атома», але це дещо різні речі.

4. Варто було б у розділі I навести класифікаційну таблицю найсучасніших інгібіторів корозії, тоді були б більше зрозумілі саме Ваші винахідницькі ідеї.

5. С. 107. і далі по тексту вживається застаріла одиниця вимірювання « $\text{мг} \cdot \text{екв} / \text{дм}^3$ ». Потрібно відповідно сучасної номенклатури хімічних елементів вживати аналог « $\text{ммоль} / \text{дм}^3$ ».

6. С. 109. У формулі (2.16) Ви використовуєте термін «валентність металу» і зазначаєте валентність заліза = 2. Разом з тим, залізо в окремих випадках може мати і валентність = 3 тощо, якщо мова іде про різні його оксиди та гідроксиди, які наявні в ржавчині, наприклад: FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 та відповідні їм гідроксиди.

7. У чому суть розробленого Вами мідно-сульфатного електроду порівняння? Як забезпечується його стабільність і зразковість, адже мідь, як відомо, з часом окисляється?

8. С 223, рис. 5.6. На ординаті немає фізичної величини і одиниць її вимірювання.

9. З нашої точки зору, недостатньо уваги приділено сучасним фізичним методам неруйнівного контролю стану діючих нафтопроводів.

10. У роботі і авторефераті є деякі описки та неточності, наприклад: «наряду» (поряд), «слід відмітити» (варто відзначити), «працездатність

нафтопроводу» (безвідмовність, надійність), «слідуючим чином» (потрібно «так» або «у такій послідовності»), «двохелектродний» (двоелектородний), «трьохфазний» (трифазний), «датчики» (сенсори, давачі), «грати роль» (відігравати), «пропитка» (просякання), «котрі» (які), «з'єднання» (сполуки, якщо мова йде про хімічні речовини, а не про стики, шви) та ін.

Загальні висновки опонента.

Не зважаючи на зазначені недоліки та зауваження, які суттєвим чином не знижують цінність та досить високий науковий рівень роботи в цілому, дисертація повністю відповідає формулі та паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека та вимогам п.п. 9, 10, 12-14 Положення «Про порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 із змінами, має беззаперечні наукову новизну та практичну цінність і може бути використана у багатьох галузях народного господарства, науки і освіти, зокрема: у екології та екологічній безпеці, нафтогазотранспортній системі України, нафтогазопереробному комплексі держави, електрохімії, агроекології тощо, а її автор **Степова Олена Валеріївна** заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

Офіційний опонент,
директор інституту екологічної
безпеки та моніторингу довкілля
Вінницького національного
технічного університету, Заслужений
природоохоронець України,
доктор технічних наук, професор



[Handwritten signature] **В.Г. Петрук**

Підпис В.Г. Петрука засвідчую
учений секретар Вченої ради ВНТУ

[Handwritten signature] **А.В. Поплавський**

Підпис *[Handwritten signature]*
ПОСВІДЧУЮ
Зав. канцелярією *[Handwritten signature]*