

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу
Тивоненка Артема Вікторовича

на тему «Екологізація процесів зворотного осмосу»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія
за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота зосереджена на вирішенні нагальних екологічних проблем, пов'язаних із зменшенням пластикових відходів, що виникають внаслідок використання комерційних зворотноосмотичних мембранних елементів, а також на отриманні абсолютно безпечної, фізіологічно повноцінної питної води. Дослідження має як очевидну практичну значущість, адже запропоновані рішення можуть бути впроваджені в промислових масштабах, так і теоретичну, оскільки в процесі роботи було виявлено раніше невідомі властивості поліамідних зворотноосмотичних мембран та елементів на їх основі.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

- Визначено граничні вимоги до рівня забруднення відпрацьованих зворотноосмотичних мембранних елементів комерційного класу, що забезпечує практично повне відновлення їх властивостей під час регенерації.
- Вперше встановлено факт та характер змін структурних, хімічних і фізико-хімічних властивостей поліамідного мембранного полотна під впливом шести модифікуючих агентів, що сприяє зниженню схильності мембранних елементів до утворення флулінгу при очищенні води.

Практична значущість роботи полягає в тому, що отримані експериментальні результати можуть бути використані для реалізації процесів

регенерації відпрацьованих зворотноосмотичних елементів та їх модифікації з метою застосування у комерційних установках для отримання абсолютно безпечної, фізіологічно повноцінної води.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології КПІ ім. Ігоря Сікорського проводячи свої дослідження в рамках проекту проекту «Новітні селективні індикаторні системи для оцінки стану морського довкілля України» (Державний реєстраційний номер 0124U001100) та проекту прикладних наукових досліджень «Хімічно модифіковані мембрани для оперативного виявлення у природних водах нітрогеновмісних сполук як маркерів вибухових речовин» (Державний реєстраційний номер 0124U001095). Також роботу було виконано в рамках госп. договірної теми «Комплексні фізико-хімічні та аналітичні дослідження зразків води, сорбційних і мембранних матеріалів та обладнання для водопідготовки» на замовлення Громадської організації «Всеукраїнське водне товариство «ВОТЕРНЕТ» (Державний реєстраційний номер 0123U100413) під керівництвом професора кафедри технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології, доктора технічних наук Мітченко Тетяни Євгенівни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання встановлення раціональних умов регенерації відпрацьованих комерційних мембранних елементів, встановлення раціональних умов модифікації зворотноосмотичних мембранних елементів та дослідження змін властивостей мембранного полотна внаслідок модифікації виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Тивоненка А.В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Хімічні технології та інженерія»

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям екологізації процесів зворотного осмосу. Отримані результати сприяють розвитку хімічних технологій та інженерії, зокрема у галузі переробки відпрацьованих комерційних мембранних елементів та отримання фізіологічно повноцінної води.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна

робота Тивоненка Артема Вікторовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Викладений матеріал відзначається логічною послідовністю, чіткістю та доступністю. Стиль мовлення науково обґрунтований, використані загальноприйняті терміни, що відповідають сучасним стандартам у галузі хімічних технологій та інженерії. Дисертант демонструє глибоке розуміння теми дослідження та вміння зрозуміло та ясно представити результати своєї роботи.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 139 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено мету та завдання роботи, сформульовано об'єкт та предмет дослідження, описано методи дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Також зазначено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, а також інформацію про апробацію та публікації за темою дисертації та впровадження розроблених методик у виробничий та освітній процеси.

У першому розділі роботи висвітлено екологічні проблеми, що супроводжують застосування методу зворотного осмосу, зокрема утворення пластикових відходів та отримання очищеної води, яка не відповідає вимогам фізіологічної повноцінності. Показано, що ці питання можна вирішити за допомогою регенерованих і хімічно модифікованих зворотноосмотичних елементів.

При аналізі літературних джерел встановлено, що сучасний термін експлуатації комерційних мембранних елементів складає 6–12 місяців, після чого вони перетворюються на пластикові відходи та направляються на сміттєзвалища. Наведено дані про кількість таких відходів і темпи їх щорічного зростання, а також розглянуто причини їх утворення та методи подовження життєвого циклу мембранних елементів. Встановлено, що одним із найефективніших рішень є повторне використання відпрацьованих мембранних елементів, що пройшли регенерацію та/або модифікацію шляхом обробки розчином активного хлору для зменшення їх селективності. Питна вода, отримана за допомогою зворотного осмосу, є абсолютно безпечною, проте не відповідає стандартам фізіологічної повноцінності: мінералізація має бути не менше 100 мг/дм³, а загальна жорсткість – не менше

1 мг-екв/дм³. Зазвичай ці показники досягають на окремій стадії домінералізації, яка здійснюється різними методами з певними недоліками. Показано, що доцільним рішенням може стати використання одноступеневої мембранної системи з зворотноосмотичними елементами з заданою селективністю для виробництва води, що відповідає як нормативам безпеки, так і стандартам фізіологічної повноцінності.

У другому розділі дисертації надано інформацію щодо об'єктів дослідження – нових і відпрацьованих комерційних зворотноосмотичних елементів. Описано методику визначення стартових характеристик мембранних елементів, а також представлено режим регенерації відпрацьованих елементів шляхом послідовної обробки лужним, кислотним та окисним реагентами. Детально розглянуто процедури модифікації зворотноосмотичних елементів та методи визначення змін їх робочих характеристик під впливом солейності вихідної води, температури та робочого тиску.

Для оцінки змін властивостей поверхні мембранного полотна внаслідок модифікації використовували такі методи, як інфрачервона спектроскопія, скануюча електронна мікроскопія, вимірювання контактного кута змочування для оцінки гідрофільності, визначення дзета-потенціалу та розміру пор мембрани. Також наведено умови проведення пілотних випробувань процесу очищення водопровідної води м. Києва на комерційній установці зворотного осмосу з використанням нового, регенованого, нового модифікованого та регенованого модифікованого мембранних елементів.

Третій розділ містить результати експериментальних досліджень процесів регенерації відпрацьованих мембранних елементів та модифікації як нових, так і регенованих зворотноосмотичних елементів.

У розділі 3.1 продемонстровано ефективність обраного режиму регенерації за допомогою фотографій, мікрофотографій, ІЧ-спектрів та аналізу хімічного складу фоулінгу на поверхні як відпрацьованих, так і регенованих елементів. Встановлено граничні вимоги до ступеня забруднення відпрацьованих зворотноосмотичних елементів, за яких можливо повне відновлення їхніх властивостей при проведенні регенерації. Результати пілотних випробувань процесу очищення водопровідної води з використанням регенованих та нових елементів виявились повністю співпадаючими.

У розділі 3.2 проведено порівняння різних режимів модифікації зворотноосмотичних елементів і визначено оптимальні умови їх проведення. Для отримання елементів з різною селективністю застосовували режими з однаковим часом експозиції, але з різною концентрацією активного хлору. Встановлено, що обрані режими актуальні як для нових, так і для регенованих елементів. Також визначено вимоги до заданої селективності мембранних елементів для досягнення фізіологічної повноцінності води

залежно від солевмісту вихідної води; зокрема, для київської водопровідної води із середнім вмістом солей 300 мг/дм³ селективність модифікованих елементів не повинна перевищувати 60 %.

Досліджено вплив основних робочих параметрів – солевмісту, температури та тиску – на характеристики модифікованих елементів. Встановлено, що при зростанні солевмісту вихідної води селективність і продуктивність модифікованих елементів зменшуються, при зниженні температури – селективність зростає, а продуктивність падає, а при підвищенні тиску – зростають як продуктивність, так і селективність.

Аналіз впливу процесу модифікації на властивості поверхні поліамідного мембранного полотна показав, що поверхня стає більш гладкою, гідрофільною та негативно зарядженою, а розмір пор збільшується з 4,04 до 4,50 Å. Зміни фізико-хімічних характеристик поверхні модифікованої мембрани сприяють зниженню утворення флуїлінгу під час очищення води.

Четвертий розділ присвячено аналізу екологічних наслідків та економічної доцільності регенерації відпрацьованих комерційних зворотньоосмотичних елементів.

За методикою витрат матеріалів на одиницю продукції та коефіцієнтів інтенсивності маси розраховано, що проведення процесу регенерації, що подовжує життєвий цикл мембранних елементів, може спричинити не лише зменшення кількості пластикових відходів, але й знизити обсяг матеріалів, що не вилучаються та забруднюють навколишнє середовище. Розраховано вартість регенованих елементів і продемонстровано можливість значної економії при їх використанні замість нових.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Наукові результати дисертації висвітлені у 10 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 1 стаття у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 2 статті у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, з яких 2 статті у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports.

Також результати дисертації були апробовані на 7 наукових фахових конференціях.

Науковий рівень публікацій дисертанта знаходиться на високому рівні. Всі принципи академічної доброчесності були дотримані здобувачем під час написання та опублікування наукових праць. Особистий внесок здобувача до

публікацій, опублікованих зі співавторами та зарахованими за темою дисертації є вагомими.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Використання лише шести модифікуючих агентів може обмежувати можливості оптимізації технології. Варто розглянути можливість розширення спектру агентів або комбінацій для досягнення ще більш ефективного зниження схильності до фоулінгу. Не обґрунтовано критерії, що були використані для обрання модифікаторів.

Хоча встановлено факт і характер змін у властивостях поліамідного полотна, механізми цих змін потребують більш детального роз'яснення. Подальше дослідження молекулярних процесів сприяло би більш глибокому зрозумінню впливу модифікуючих агентів, що на даний момент носить емпіричний характер.

Результати дослідження демонструють чітку взаємозалежність між робочими параметрами та характеристиками модифікованих елементів, але не в повній мірі розкрито питання яким чином зміни фізико-хімічних характеристик поверхні сукупно (збільшення розміру пор, підвищення гідрофільності та негативного заряду) впливають на механізми зниження фоулінгу при різних умовах водоочищення.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

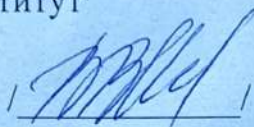
Висновок про дисертаційну роботу.

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Тивоненка Артема Вікторовича на тему «Екологізація процесів зворотного осмосу» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для *хімічної та біоінженерної галузі*. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Тивоненко Артем Вікторович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія за спеціальністю 161 Хімічні технології та інженерія.

Рецензент:

завідувача кафедри фізичної хімії
Національного технічного
університету України
"Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського"
д.т.н., доц.



« 26 » березня 2025 року