

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 присвячена вирішенню актуальних екологічних питань, пов'язаних зі зменшенням кількості пластикових відходів, що утворюються під час експлуатації комерційних зворотноосмотичних мембранних елементів, а також забезпеченню отримання абсолютно безпечної та фізіологічно повноцінної питної води. Це дослідження має не лише вагому практичну цінність, оскільки запропоновані рішення можуть бути реалізовані у промислових масштабах, а й теоретичну значущість, оскільки в процесі роботи 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:

Встановлено граничні вимоги до рівня забруднення відпрацьованих зворотноосмотичних мембранних елементів комерційного класу, що забезпечує практично повне відновлення їхніх властивостей під час регенерації.

Вперше виявлено факт і характер змін структурних, хімічних та фізико-хімічних властивостей поліамідного мембранного полотна під впливом шести модифікуючих агентів, що сприяє зниженню схильності мембранних елементів до утворення фоулінгу при очищенні води.

Практична значущість роботи полягає в тому, що отримані експериментальні результати можуть бути використані для впровадження процесів регенерації відпрацьованих зворотноосмотичних елементів та їх модифікації з метою застосування у комерційних установках для забезпечення абсолютно безпечної та фізіологічно повноцінної води.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках проєкту «Новітні селективні індикаторні системи для оцінки стану морського довкілля України» (Державний реєстраційний номер 0124U001100) та прикладних наукових досліджень «Хімічно модифіковані мембрани для оперативного виявлення у природних водах нітрогенвмісних сполук як маркерів вибухових речовин» (Державний реєстраційний номер 0124U001095). Також роботу було виконано в рамках господарчо 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, професора 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 освітньо-наукової 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. Представлений матеріал вирізняється логічною послідовністю, чіткістю та доступністю викладу. Мова обґрунтована науково, із застосуванням загальноприйнятих термінів, що відповідають сучасним стандартам у галузі хімічних технологій та інженерії. Дисертант демонструє глибоке розуміння теми дослідження і вміло, доступно представляє отримані результати.

Дисертація складається із 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 і предмет дослідження, описано методи дослідження, а також наведено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Крім того, підкреслено зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, а також наведено інформацію про апробацію, публікації за темою дисертації і впровадження розроблених методик у виробничий та освітній процеси.

У першому розділі дослідження розглянуто екологічні проблеми, пов'язані із застосуванням методу зворотного осмосу, зокрема утворення пластикових відходів і виробництво очищеної води, що не відповідає вимогам фізіологічної повноцінності. Продемонстровано, що ці питання можна вирішити за допомогою регенованих і хімічно модифікованих зворотноосмотичних елементів.

Аналіз літературних джерел показав, що сучасний термін експлуатації комерційних мембранних елементів становить 6–12 місяців, після чого вони перетворюються на пластикові відходи та утилізуються на сміттєзвалищах. Наведено дані щодо кількості таких відходів і темпів їх щорічного зростання, а також розглянуто причини їх утворення і методи подовження життєвого циклу мембранних елементів. Встановлено, що одним із найефективніших рішень є повторне використання відпрацьованих мембранних елементів, що пройшли регенерацію та/або модифікацію за допомогою обробки розчином активного хлору для зниження їх селективності.

Питна вода, отримана методом 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 досягаються на окремій стадії домінералізації, яка здійснюється різними методами з певними недоліками. Продемонстровано, що доцільним рішенням може стати використання одноступеневої мембранної системи із зворотноосмотичними елементами з заданою селективністю, що дозволить виробляти воду, яка відповідає як нормативам безпеки, так і стандартам фізіологічної повноцінності.

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

Для оцінки змін властивостей поверхні мембранного полотна внаслідок модифікації використовувалися такі методи, як інфрачервона спектроскопія, скануюча електронна мікроскопія, вимірювання контактного кута змочування для визначення гідрофільності, аналіз дзета-потенціалу та визначення 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 і 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 під час регенерації. Результати пілотних випробувань процесу очищення водопровідної води із використанням регенованих і 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 із різною селективністю використовували режими із однаковим часом експозиції, але з різною концентрацією активного хлору. Встановлено, що ці режими є актуальними 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 зі збільшенням солевмісту вихідної води селективність і

продуктивність модифікованих елементів зменшуються, при зниженні температури селективність зростає, але продуктивність знижується, а при підвищенні тиску зростають як продуктивність, так і селективність.

Аналіз впливу процесу модифікації на властивості поверхні поліамідного мембранного полотна показав, що її поверхня стає більш гладкою, гідрофільною і набуває більш вираженого негативного заряду, а розмір пор збільшується з 4,04 до 4,50 Å, що сприяє зниженню утворення фоулінгу під час очищення води.

Четвертий розділ присвячено аналізу екологічних наслідків і економічної доцільності регенерації відпрацьованих комерційних зворотноосмотичних елементів. За методикою визначення витрат матеріалів на одиницю продукції та коефіцієнтів інтенсивності маси встановлено, що впровадження процесу регенерації, який подовжує життєвий цикл мембранних елементів, може не лише зменшити кількість пластикових відходів, а й скоротити обсяг матеріалів, що 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.

Публікації дисертанта відзначаються високим науковим рівнем, а всі принципи академічної доброчесності були ретельно дотримані під час написання та публікації робіт. Особистий внесок здобувача у спільні публікації та роботи, зараховані за темою дисертації, є значним.

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

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Для визначення хімічного складу фоулінгу, після автопсії відпрацьованих та регенованих мембранних елементів у лужних розчинах визначали вміст

силікатів та органічних речовин. Що мається на увазі під словом «силікати»? Чим обумовлено визначення саме вміст силікатів у лужному розчині після регенерації? Який вміст силікатів у водопровідній мережі дніпровського водозабору у м. Києві, вода з якої використовувались у водних автоматах вендингу для одержання води питної якості?

2. У роботі (розділ 2, п. 2.2.10) представлена «таблиця 2.7 - Методики визначення речовин у розчинах», в якій наведено ряд нормативних документів, згідно яких визначали вміст певних речовин, але самі методики не представлені. Здобувач самостійно проводив аналіз розчинів на базі кафедри ТНР, В та ЗХТ чи це було зроблено на базі ТОВ «НВО «Екософт» у межах госпдоговірних чи інших спільних науково-дослідних робіт?
3. Чи проводилась статистична обробка експериментальних даних, отриманих у ході виконання дисертаційної роботи?
4. В ході багатоступеневої регенерації відпрацьованих мембранних елементів утворюються промивні води. Чи досліджували ви їх хімічний склад? Чи відповідають вони за своїми показниками стічним водам, які можна скидати у каналізаційну мережу без додаткового очищення?
5. Чи можете ви надати рекомендації щодо можливості одержання фізіологічно повноцінної за мінеральним складом питної води з використанням регенерованих мембранних елементів, модифікованих розчинами активного хлору, адже, у висновках написано «Результати пілотних досліджень процесу очищення київської водопровідної води показали, що характеристики регенерованих елементів не відрізняються від нових, а їх використання дозволяє одержати питну воду, яка відповідає вимогам до безпечної, але не фізіологічно повноцінної»?
6. У роботі зустрічається незначна кількість описок.

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:

завідувач кафедри хімічної
технології кераміки та скла
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
к.т.н., доц.



Підпис гр. Вікторія ТОБІЛКО	
ЗАСВІДЧУЮ	
Відділ кадрів	
підпис	пр-ще



« 26 » березня 2025 року