

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Куриленка Віктора Сергійовича  
на тему «Отримання адсорбційно-(фото)каталітичних та мембранних матеріалів  
на основі алюмосилікатів»,  
подану на здобуття ступеня доктора філософії  
у галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія  
за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія

### **Актуальність теми дисертації.**

Дисертаційна робота присвячена створенню функціональних адсорбційних, (фото)каталітичних та мембранних матеріалів на основі природних алюмосилікатів українського походження, що є актуальним завданням сучасної хімічної технології. У контексті зростаючих екологічних викликів, пов'язаних із забрудненням водного середовища та необхідністю утилізації полімерних відходів, розробка ефективних сорбентів, фотокаталізаторів і каталізаторів на базі доступної природної сировини є актуальним та перспективним напрямом досліджень. Додаткову значущість теми зумовлює дослідження технологій 3D-друку для формування керамічних матриць, що відкриває нові перспективи у створенні мембранних матеріалів складної геометрії на основі природних алюмосилікатів.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

Встановлено, що кислотне активування українських цеоліту та бентоніту одночасно забезпечує розвинення питомої площі поверхні, її протонування та створення внаслідок цього кислотно-основних активних центрів, що суттєво підвищує адсорбційну та каталітичну. Доведено, що синтез фотокаталітичних систем на основі природних українських алюмосилікатів та  $\text{TiO}_2$  є перспективним способом отримання вітчизняних низьковартісних фотокаталізаторів, які конкурентоспроможні порівняно із чистою фазою титану(IV) оксиду за рахунок утворення специфічної вторинної пористої структури. Виявлено, що поєднання кислотного активування та модифікування природного цеоліту оксидами кобальту та нікелю дає змогу одержати високоактивні каталізatori переробки полістиролу методом крекінгу, що пов'язано з посиленням впливу протонування поверхні цеоліту на каталітичну активність оксидів перехідних металів. Вперше показано можливість використання природного каоліну українського родовища

для створення суспензій, що здатні до фотополімеризації і 3D друку методом DLP. Встановлено, що для приготування суспензії на основі фотополімерної смоли High Speed Resin v2 необхідна попередня термообробка природного каоліну за 500 °C.

Практична значущість результатів дослідження полягає у можливості застосування одержаних функціональних матеріалів у процесах очищення води від фторидів, фотокаталітичного руйнування органічних забруднювачів та переробки полімерних відходів. Каталізатор Zeo-0+CoO/Zeo-1 було випробувано в умовах двостадійної схеми крекінгу полістиролу на базі ТОВ «НВГ «СІНЕКОТЕХ».

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі технологій неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках роботи «Новітні селективні індикаторні системи для оцінки стану морського довкілля України» (Державний реєстраційний номер 0124U001100, дата реєстрації 28.01.2024) та проекту «Наукові основи синтезу новітніх керамічних мембран із застосуванням технологій 3D друку» (реєстраційний номер проекту 2023.03/0178 в рамках конкурсу 2023.03 «Передова наука України») під керівництвом професора, д.т.н. Донцової Тетяни Анатоліївни та доцента, к.т.н., Янушевської Олени Іванівни.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання з отримання функціональних матеріалів на основі природних алюмосилікатів для адсорбційного, каталітичного, фотокаталітичного та мембранного застосування 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 Куриленка В.С. 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 розробки функціональних матеріалів на основі алюмосилікатів.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Куриленка Віктора Сергійовича 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.

Поданий матеріал вирізняється логічною послідовністю, чіткістю та доступністю викладу. Стиль мовлення дисертації науково обґрунтований із застосуванням сучасної термінології, що відповідає усталеним стандартам у галузі хімічних технологій та інженерії. Дисертант демонструє глибоке розуміння тематики дослідження і подає результати зрозуміло та чітко.

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 208 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет роботи. Наведено огляд наукових досягнень у сфері використання природних алюмосилікатів для екологічних застосувань. Визначено наукову новизну й практичне значення отриманих результатів, а також надано відомості про апробацію, публікації за темою дисертації й впровадження результатів у виробничий й навчальний процеси.

У першому розділі подано критичний огляд літератури, присвяченої використанню природних і модифікованих алюмосилікатів для вилучення фтору з водних розчинів, а також створенню фотокаталізаторів та каталізаторів на їхній основі. Розглянуто основні підходи до активування та модифікації цеоліту і бентоніту, оцінено перспективи їх застосування як матриць для іммобілізації допантів ( $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{NiO}$ ). Окрему увагу приділено проблематиці піролізу полістиролу з використанням каталітично активних носіїв, а також сучасним досягненням у сфері формування пористих керамічних структур для мембранних застосувань методом 3D-друку.

У другому розділі представлено експериментальні підходи до кислотного активування природних алюмосилікатів та їх модифікації оксидами металів. Детально описано методики приготування зразків, зокрема, умови їх сушіння та прожарювання. Висвітлено застосовані методи фізико-хімічної характеристики: рентгенофазовий аналіз (XRD), інфрачервону спектроскопію (FTIR), сканувальну електронну мікроскопію (SEM), вимірювання питомої площі поверхні (BET), аналіз розподілу розмірів пор, віскозиметрію. Окремо подано методику приготування фотополімерних суспензій на основі природного каоліну, включно з оцінкою їх реологічних властивостей для застосування в DLP 3D-друку.

У третьому розділі представлено результати досліджень фізико-хімічних властивостей та ефективності природних і модифікованих алюмосилікатів.

У підрозділі 3.1 вказано, що кислотна обробка природних цеоліту та бентоніту сприяє зменшенню вмісту баластних фаз і супроводжується зростанням питомої площі поверхні внаслідок розвитку мікро- та мезопористої структури. Одержані зміни підтверджено методами РФА, ДТА/ТГА та низькотемпературної адсорбції/десорбції азоту. Визначено, що кислотне активування також змінює

кисотно-основні характеристики, зокрема зумовлює протонування поверхні та підвищення кількості кислотних центрів, що узгоджується з результатами розрахунків функції кислотності  $H_0$ . За результатами адсорбційних досліджень встановлено, що процес вилучення іонів фтору краще описується моделлю Вагелара–Ленгмюра, і найбільший ступінь вилучення іонів фтору досягається в кислому середовищі.

У підрозділі 3.2 проаналізовано фотокаталітичну активність зразків, модифікованих титану(IV) оксидом. Показано, що введення 10 %  $TiO_2$  до складу алюмосилікатної матриці забезпечує ефективне видалення органічних забруднювачів. Зокрема встановлено, що зразку  $TiO_2$ /Zeo-1 притаманна найвища активність: ступінь фотокаталітичного видалення конго червоного після 30 хв опромінення становить 74 %, тоді як повне знебарвлення метиленового синього досягається переважно за рахунок адсорбції.

У підрозділі 3.3 наведено результати дослідження каталітичної активності зразків, модифікованих оксидами Co та Ni, у процесі піролізу полістиролу. Встановлено, що застосування каталізаторів CoO/Zeo-1 та NiO/Zeo-1 у режимі одностадійного піролізу забезпечує вихід рідкої фракції понад 62 % та селективність за стиролом понад 60 %. Найвищу селективність до стиролу (81,9 %) досягнуто при використанні двостадійної схеми за участі Zeo-0 та CoO/Zeo-1, що підтверджує доцільність їхнього застосування в таргетованому отриманні стиролу з полімерних відходів.

У підрозділі 3.4 доведено придатність природних алюмосилікатів до формування керамічних матриць методом сухого пресування та 3D-друку методом DLP. Загальна пористість одержаних зразків становить 27,9–43,6 %. Застосування фотополімерних суспензій на основі термообробленого за 500 °C каоліну дало змогу сформувати «зелені тіла» із заданою геометрією та прийнятною механічною стабільністю. Надруковані зразки після спікання можуть бути використані як носії для функціональних фаз у мембранних або фотокаталітичних процесах.

У четвертому розділі подано опис розробленої технологічної схеми отримання функціональних матеріалів на основі природного цеоліту. Прораховано матеріальний баланс, що дає змогу оцінити витрати сировини на всіх етапах синтезу цих матеріалів.

У п'ятому розділі наведено техніко-економічні розрахунки гіпотетичного підприємства з виробництва фотокаталізатора на основі  $TiO_2$ /Zeo-1. Здійснено розрахунок середньорічної продуктивності, обсягів споживання сировини та витрат і оцінено економічну ефективність процесу.

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: 6 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Публікації дисертанта відзначаються високим науковим рівнем. Оприлюднені результати повною мірою відображають зміст дисертації, відповідають її меті та завданням, а також підтверджують особистий внесок здобувача в одержання нових наукових і практично значущих результатів.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Надто об'ємний розділ 1.

2. С. 70 – варто було вказати, до якої дисперсності подрібнювали природні матеріали (бентоніт, цеоліт, каолін), які використовували для формування керамічних мембран, оскільки дисперсність надалі мала б впливати на стеричні та функціональні характеристики мембран. Також варто було вказати значення тиску, за якого формували мембрани, у МПа. Так само, варто було навести фракційний склад фотокаталізатора.

3. С.79 Чи визначали ефективну (питому) потужність УФ-випромінювання з урахуванням геометричних розмірів лампи (довжини) і хімічної склянки (діаметр).

4. С. 98. (табл. 3.1) Не зрозуміло, чому зі збільшенням концентрації іонів фтору від 5 до 10 мг/дм<sup>3</sup> ступінь вилучення (за рН 7,5) зменшується, а надалі (за концентрації 15 мг/дм<sup>3</sup>) знову зростає, тоді як сорбційна ємність монотонно зростає. Це стосується і даних для клиноптилоліту за рН 3,7 й бентоніту (рН 7,5).

5. С. 129. Вказано, що «Причиною зниження фотокаталітичної активності зразків, отриманих із застосуванням ультразвукової обробки (УЗ), імовірно є порушення рівномірного розподілу наночастинок TiO<sub>2</sub> на поверхні носія. кавітація, характерна для УЗ-обробки, може сприяти агрегації наночастинок та/або їх глибокому проникненню в пори цеоліту, що зменшує кількість активних центрів...». Погоджуюсь з тим, що фотокаталітична активність під дією УЗ зменшується. Але, радше, не за рахунок агрегації частинок TiO<sub>2</sub> чи їх переміщення всередину, а внаслідок їх «десорбції» з поверхні клиноптилоліту («очищення» поверхні частинок цеоліту від TiO<sub>2</sub>) під дією кавітації та супутніх їй явищ.

6. Дані щодо формування керамічних мембран, наведених у розділі 3.4.3, варто було б доповнити деякими експлуатаційними характеристиками.



7. В описі технологічної схеми потрібно було вказати й стадію промивання активованого клиноптилоліту й передбачити використання чи утилізацію промивних вод.

Вважаю, що висловлені зауваження не є принциповими і абсолютно не зменшують 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 Куриленка Віктора Сергійовича на тему «Отримання адсорбційно-(фото)каталітичних та мембранних матеріалів на основі алюмосилікатів» 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 Куриленко Віктор Сергійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія».

### **Офіційний опонент:**

Завідувач кафедри хімії і технології  
неорганічних речовин  
Національного університету  
«Львівська політехніка»,  
д.т.н., проф.



Зеновій ЗНАК

М.П.

« 27 » 06 2025 року

