**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**
ХІМІКО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення
та загальної хімічної технології

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Тетяна ДОНЦОВА
«___» червень 2022 р.

**Магістерська дисертація**
**на здобуття ступеня магістра**
**за освітньо-науковою програмою «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»**
**зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»**
**на тему: «Синтез селективного шару на основі титан (IV) оксиду для керамічних мембран»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) 2 курсу, групи ХН-01мн
Алексик Аліса Ігорівна _____
Керівник:
доц., к.т.н.,
Янушевська Олена Іванівна _____
Консультант з наукової частини:
Зав. кафедри, д.т.н., доцент,
Донцова Тетяна Анатолівна _____
Рецензент:
С.н.с, к.х.н,
Власенко ніна Василівна _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України**

**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

ХІМІКО - ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра технології неорганічних речовин, водоочищення та загальної хімічної технології

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 161 «Хімічні технології та інженерія»

Освітньо-наукова програма «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Тетяна ДОНЦОВА

«___» червень 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**
**на магістерську дисертацію студенту**

**Алексик Алісі Ігоірвні**

1. Тема дисертації «Синтез селективного шару на основі титан (IV) оксиду для керамічних мембран», науковий керівник дисертації Янушевська Олена Іванівна доц., к.т.н., затверджені наказом по університету від «05»травня 2022 р. №НС/200/2022

2. Термін подання студентом дисертації 07 червня 2022р.

3. Об’єкт дослідження – селективний шар на основі титан (IV) оксиду для керамічних мембран.

4. Вихідні дані _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити – провести критичний аналіз методів синтезу титан (IV) оксид. Приготувати різні зразки $TiO_2$ відповідно до обраного метода синтезу. Дослідити приготовані зразки рентгенофазним методом аналізу та вивчити їх фотокаталітичні властивості. Провести синтез суспензій для нанесення на керамічні підкладки. Методом spin-coating та dip-coating нанести селективний шару на керамічні підкладки. Проаналізувати отримані зразки методом скануючої електронної мікроскопії.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – презентація результатів експериментальних досліджень.

7. Орієнтовний перелік публікацій 1 стаття (Scopus), 1 тези доповідей

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Наукова частина | Янушевська Олена Іванівна, доцент, к.т.н.; Донцова Тетяна Анатолівна, зав. кафедри, д.т.н. | | |

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

| № з/п | Назва етапів виконання магістерської дисертації | Термін виконання етапів магістерської дисертації | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Критичний аналіз літератури | | |
| 2 | Синтез титан (IV) оксид | | |
| 3 | Дослідження отриманих зразків $TiO_2$ | | |
| 4 | Вивчення способу синтезу та нанесення селективного шару | | |
| 5 | Нанесення селективного шару на мембрану методом spin-coating та dip-coating | | |
| 6 | Дослідження та аналіз отриманих зразків мембран | | |
| 7 | Розробка стартап проєкту | | |
| 8 | Підготовка пояснювальної записки | | |

Студент Аліса АЛЕКСИК

Науковий керівник Олена ЯНУШЕВСЬКА

# РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 94 с., 29 рис., 19 табл., 39 посилань.

Об’єкт дослідження – селективний шар на основі титан (IV) оксиду для керамічних мембран. Предмет дослідження – синтез та дослідження характеристик селективного шару. Мета роботи – синтез селективного шару на основі титан (IV) оксиду для використання як селективного шару керамічної мембрани в процесі очищення води від органічних полютантів.

Проведено синтез зразків $TiO_2$ гідротермальним методом та охарактеризовано їх фазовий склад, морфологію, поверхнево-структурні параметри. Проведено дослідження фотокаталістичних властивостей синтезованих зразків на прикладі фотодеградації розчинів бісептолу та конго червоного. Приготовано селективний шар, на основі отриманих зразків $TiO_2$, з подальшим нанесення його на керамічну підкладку методами spin-coating і deep-coating.

КЕРАМІЧНІ МЕМБРАНИ, СЕЛЕКТИВНИЙ ШАР, ТИТАН (IV) ОКСИД, ОРГАНІЧНІ ПОЛЮТАНТИ, ФОТОКАТАЛІЗ, ОЧИЩЕННЯ ВОДИ

# ABSTRACT

Explanatory note 94 p., 29 fig., 19 table., 39 references.

The object of study is a selective layer based on titanium (IV) oxide for ceramic membranes. The subject of research is the synthesis and study of the characteristics of the selective layer. The aim of the work is the synthesis of a selective layer based on titanium (IV) oxide for use as a selective layer of ceramic membrane in the process of water purification from organic pollutants.

The synthesis of TiO2 samples by hydrothermal method was carried out and their phase composition, morphology, surface-structural parameters were characterized. The photocatalytic properties of the synthesized samples were studied on the example of photodegradation of biseptol and Congo red solutions. A selective layer was prepared on the basis of the obtained TiO2 samples, followed by its application on a ceramic substrate by spin-coating and deep-coating methods.

CERAMIC MEMBRANES, SELECTIVE LAYER, TITANIUM (IV) OXIDE, ORGANIC POLYUTANTS, PHOTOCATALYSIS, WATER PURIFICATION

# ЗМІСТ

**ВСТУП** ..... **8**

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ** ..... **10**

**1 КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ** ..... **11**

**ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1** ..... **31**

**2 МАТЕРІАЛИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИКИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ** ..... **32**

**2.1 Матеріали** ..... **32**

**2.1.1 Характеристина ізопропоксид титану** ..... **32**

**2.1.2 Характеритистина дистильованої води** ..... **32**

**2.1.3 Характеристика ізопропіловго спирту** ..... **33**

**2.1.4 Характеристика етиленгліколя** ..... **33**

**2.1.5 Характеристика титан (IV) оксиду** ..... **34**

**2.2 Фізико-хімічні методи дослідження** ..... **34**

**2.3 Експериментальні методикі синтезу** ..... **35**

**2.3.1 Методика синтезу $TiO_2$ гідротермальним методом** ..... **35**

**2.3.2 Методика дослідження фотокаталітичних властивостей зразків $TiO_2$** ..... **36**

**2.3.3 Приготування суспензії $TiO_2$ для нанесення на підкладку** ..... **37**

**2.3.4 Приготування суспензії/розчину селективного шару методом полімерних прекурсорів** ..... **37**

**ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2** ..... **37**

**3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА** ..... **39**

**3.1 Рентгенофазовий аналіз зразків $TiO_2$** ..... **39**

**3.2 Інфрачервона спектроскопія** ..... **40**

**3.3 Фотокаталітичні властивості зразків $TiO_2$ ..... 42**

**3.4 Дослідження питомої площи поверхні зразків ..... 49**

**3.5 Результати екпериментів селективного шару за різного температурного режиму. ..... 52**

**3.6 Результати СЕМ аналізу зразків мембрани із селективними шарами $TiO_2$ нанесиними різними методами ..... 52**

**ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3 ..... 56**

**4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ ..... 58**

**4.1 Техніко-економічні показники ..... 62**

**4.2 Аналіз прогнозних ринкових позицій стартап-проєкту ..... 64**

**4.3 Шляхи монетизації проєкту ..... 84**

**ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4 ..... 85**

**ВИСНОВКИ ..... 89**

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ..... 90**

# ВСТУП

Мембранні технології є високоефективними та конкурентоспроможними під час реалізації складних процесів фільтрування/розділення/концентрування речовин, зокрема в процесах водоочищення з метою вилучення забруднюючих речовин різного генезису. Останнім часом поширено використовуються керамічні мембранні фільтри у виробництвах, пов’язаних з розділенням у рідких, а також й газоподібних фазах, через високу розподільчу здатність мембран та їх найдійність у роботі. Слід зазначити низку особливостей керамічних мембран, що надають їм перевагу в порівнянні з іншими методами при застосуванні в промисловості:

- здатність працювати за високих температур;
- стійкість до біологічного обростання;
- високі антикорозійні властивості,
- здатність до самоочищення за рахунок інноваційних методів нанесення активного шару і додавання модифікаторів,
- можливість ефективної багаторазової регенерації, що суттєво підвищує рентабельність і довговічність мембран.

Процес виготовлення керамічних мембран є складним та багатостадійним процесом, а самі керамічні мембрани мають багатокомпонентний склад і полішарову структуру. Перший, підтримуючий, шар називається підкладкою (матрицею), він слугує базою, на яку наносяться наступні шари, і також він відповідає за механічну стійкість мембрани. Далі наноситься перехідний шар, що є проміжним між підкладкою та верхнім шаром мембрани, який відповідає саме за процес розділення компонентів. Верхній шар керамічної мембрани також відповідає за активність мембрани, тобто її селективність, саме тому верхній шар часто називають селективним шаром. У процесі синтезу селективного шару використовують різні методи:

золь-гель метод, метод хімічного осадження, метод анодування, гідротермальний метод тощо. Для варіювання властивостями активного верхнього шару пропонується змінювати різні параметри синтезу: природу реагента, pH середовища, кінетику осадження, температуру термічної обробки готової мембрани тощо.

Завдяки унікальній фотоіндукованій каталітичній активності, нетоксичності та механічній стійкості титан (IV) оксид ($TiO_2$) є одним із найбільш вживаних фотокаталізаторів, який весь час залишається цікавим об’єктом дослідження серед оксидів перехідних металів.

Наноструктуровані матеріали на основі $TiO_2$ представляють особливий інтерес – тонкі плівки та наночастинки. $TiO_2$ має широку область практичного застосування, він та матеріали на його основі можуть бути використані в різних галузях науки та техніки: створення сонячних елементів, використання як компонента транспортування ліків до уражених клітин організму та як складової білого пігменту під час приготування високоякісних фарб. Існує багато робіт, в яких вивчено вплив бактерицидного ефекту нанорозмірного $TiO_2$ по відношенню до різних патогенних бактерій. Існують дослідження, в яких за допомогою фільтрування крізь нанокерамічні мембрани або нановолокна, до складу яких входять структуровані наночастинки $TiO_2$, показана можливість ефективного очищення крові від вірусів.

# ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЕД – електродіаліз

TGA – термогравіметричний аналіз

DTA – диференційно-термічний аналіз

СЕМ – скануюча електронна мікроскопія

РФА – рентгенофазний аналіз

ПАА – поліакрилова кислота

ПВС – полівініловий спирт

ЕД – електродіаліз

# 1 КРИТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Доступність чистої води для щоденного споживання є однією з найважливіших глобальних проблем усіх країн. Зважаючи на вплив наростаючого антропогенного та техногенного навантаження на навколишнє середовище, посилюється промислове забруднення води солями важких металів, добривами, отрутохімікатами вірусами та бактеріями. Існує багато добре зарекомендованих способів фізико-хімічного очищення води, серед яких виділяються такі ефективні методи: сорбційні, зокрема найпоширеніший сорбент – активоване вугілля [1]; електродіаліз (ЕД) [2] для поділу аніонів та катіонів; реагентний метод осадження [3]; іонний обмін [4]; термічні методи [5]; коагуляція та флокуляція [6]; методи біологічного очищення [7].

Одним із цікавих та економічних методів є фільтрування води. Методи фільтрування завдяки своїй універсальності дозволяють отримувати чисту воду з води різного ступеня забрудненості.

На сьогоднішній день розрізняють два основних типи мембран: полімерні та керамічні. Полімерні мембрани є найбільш вивченими і широковживаними. Різні способи їх синтезу, модифікування, застосування доволі ідеально проаналізовані багатьма авторами [8, 9].

Останнім часом все активніше науковці починають звертати увагу на вивчення способів синтезу і вдосконалення саме керамічних мембран через низку їх практичних переваг у порівнянні з полімерними, а саме:

- висока селективність і ефективність розділення/концентрації речовин завдяки конструкційним особливостям;

- висока пористість і тонкий розподіл пор за розмірами, можливість регулювання розмірністю пор завдяки варіюванню різних параметрів синтезу, таких як метод синтезу, температура сушіння і прожарювання, pH

реакційного середовища, введення додаткових прекурсорів у процес створення мембран тощо;

- висока термічна, біологічна та хімічна стабільність у широкому діапазоні pH;

- висока гідрофільність і проникність скрізь мембрани за менших тисків;

- висока довговічність роботи;

- можливість зменшення впливу забруднення мембрани на її продуктивність, стійкість до біообрастання, здатність керамічних мембран до самоочищення завдяки інноваційним методам нанесення активного шару та додаванню модифікаторів;

- економічність процесу заміни та обслуговування мембран.[10, 11]

У роботі [12] показано, що мембрани на керамічній основі застосовуються в екстремальних умовах, наприклад, на нафтових родовищах для поділу пластової води. За високих температур керамічні мембрани за своєю природою стабільніші, що дозволяє більш ефективно стерилізувати технологічне обладнання. Крім того, вони, як правило, досить стійкі до мікробної та біологічної деградації, що іноді може бути проблемою для органічних мембран. Керамічні мембрани також більш механічно стабільні за високих тисків.

Одним з основних недоліків керамічних мембран є висока собівартість. Але більш тривалий термін роботи і зменшення затрат на заміну керамічних мембран деякою мірою компенсує цей недолік [13].

Для зручного практичного застосування мембрани компанують в пакети, які називаються мембранними модулями. Такі модулі забезпечують велику площу поверхні для ефективного фільтрування потоку води. Керамічні мембрани можуть мати плоску геометрію або циліндричну форму з різною упаковкою для вирішення конкретних експлуатаційних задач. Для фільтрування промислових стоків частіше використовують циліндричну конфігурація з одно- та багатоканальними трубками та порожнистими

волокнами. Такий підхід зумовлений полегшеним механізмом герметизації елементів модуля, більш високою механічною стабільністю та кращою здатністю такого типу мембран справлятися з високими швидкостями потоку порівняно з мембранами плоскої геометрії. Однак, через відому крихкість кераміки однією з головних проблем дослідників і виробників керамічних мембран залишається оптимізація щільності упаковки керамічних модулів з метою зменшення загальної площі встановленої очисної установки в робочому середовищі. На рисунку 1.1 показано деякі зображення типів керамічних мембран: плоских листів, трубчастих та порожнистих волокон.

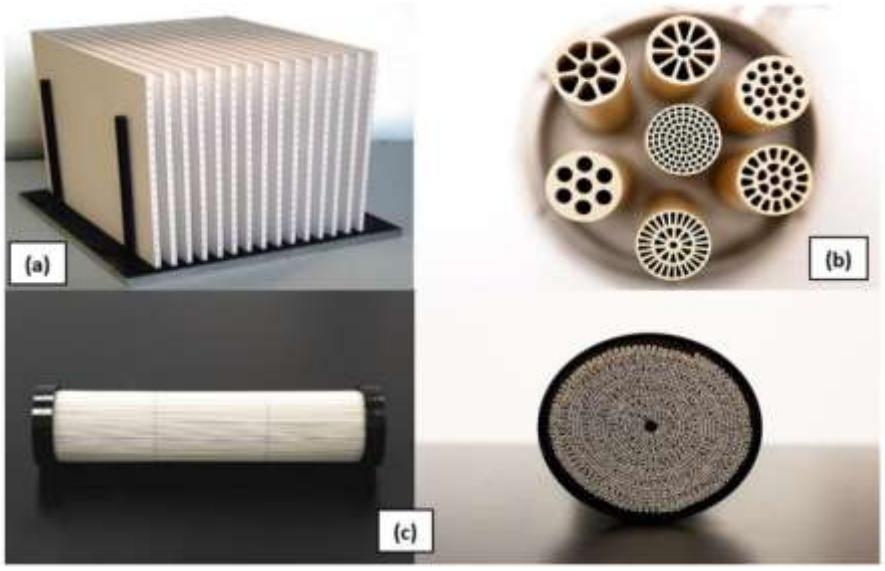



Рисунок 1.1 – Фотографії комерційних конфігурацій керамічних мембран:
(a) – плоскі листові мембрани; (b) – трубчасті керамічні мембрани;
(c) – керамічні порожнисті мембрані

Пористість керамічних мембран зумовлена, в першу чергу, природою прекурсорів і технологічним способом, застосованим у процесі виготовлення мембран. Керамічні композитні мембрани мають багатокомпонентний склад і конструкція їх може мати багатошарову будову. Як правило вони

складаються з трьох шарів. Тришарова структура керамічної мембрани – підкладка, великий розмір пор якої завдяки нанесених проміжного і активного шарів поступово звужується до нанорозмірів, називається асиметричною структурою.

Якщо схематично зобразити процес виготовлення керамічних мембран (рисунок 1.2), то він буде включати такі основні стадії як стадію приготування суміші (порошку) і суспензії прекурсорів для виготовлення матриці або підкладки керамічної мембрани; формування; стадію термічної обробки матриці; стадію нанесення наступного шару мембрани.

Рисунок 1.2 – Схематичне зображення процесу виготовлення керамічних мембран

Слід розглянути стадії і будову керамічної мембрани докладніше. Перший, підтримуючий шар є основою і відповідає за механічну стійкість та стабільність мембрани, ще його називають – підкладка або матриця. Цей шар має доволі великий розмір пор, який здатен зменшити опір потоку рідини і підтримувати швидкість перекачування потоку скрізь мембрану. Підкладка може бути виготовлена методом шлікерного спіку, високотемпературного формування та методом екструзії суспензії керамічних порошкоподібних матеріалів на основі чистих порошків $Al_2O_3$, $TiO_2$, $SiO_2$, $ZrO_2$ та природних мінералів (каолін, глина, цеоліт, боксит, діатоміт тощо) [13]. Використання природних матеріалів для виготовлення матриці керамічної мембрани здатне вагомо знизити її вартість і підвисити екологічність виробництва.

Температурний режим обробки керамічних матеріалів передбачає стадії сушіння і прожарювання, що обумовлює механічну міцність і розвинуту пористу структуру матеріалу. Пористість підкладки зумовлена розподілом частинок керамічних порошків і залежить саме від швидкості та часу сушіння, прожарювання, а також додаванням реагентів, що перешкоджають агломерації частинок, так званих пороутворювачів. Так в роботі [14] показано, що за умови зниження температури прожарювання з 1300 °С до 1200 °С і додавання крохмалю вдається отримати більш високу пористість підкладки з алюмінію оксиду. Використання крохмалю, органічних волокон, целюлози, а також неорганічних компонентів – нікелю і графіту як пороутворюючих добавок обговорюється в роботах [15].

Такі матриці керамічних мембран після проходження етапів приготування суспензії, її формування і високотемпературного прожарювання, можуть використовуватись як самостійні монолітні мембрани, що називаються симетричними мембранами. Симетричні мембрани, зазвичай, застосовуються для грубого очищення води, тобто видалення мікро-забруднень. Автори [16] показали ефективність мікрофільтрування стічних вод монолітними мембранами, сформованими

методом екструзії, в процесі видалення порошкоподібного $SiO_2$. Як основний вихідний неорганічний компонент мембран був обраний дешевий каолін, як сполучний компонент – полівініловий спирт. Вивчення технологічних характеристик виготовлення монолітного керамічного матеріалу свідчать про необхідність контролю концентрації сполучного компоненту (0,5 мас.%), температури і часу прожарювання (1150 °С і 5 год відповідно). Встановлено, що природа і концентрація полівінілового спирту у суміші впливає на утворення однорідної суспензії каолінової пасти перед спіканням і сприяє повному випаровуванню органічного спирту, не залишаючи небажаних залишків золи у готовій керамічній мембрані. Важливим також є спостереження, що температурний режим сушіння і прожарювання керамічного матеріалу безпосередньо відповідає за його морфологічну структуру (однорідність, пористість, розмір пор, відсутність розтріскувань, отворів). Причому, температурний режим повинен відповідати аналізу термографічних досліджень (TGA і DTA) задля чіткого витримування поступового випаровування вологи і контрольованого процесу дегідроксилірування. Доведено також вплив на якість керамічних монолітних мембран гарячої відмивки розчином NaOH (35 мас.%) протягом 8 год за температури 75 °С, яка здатна забезпечити видалення з мембран залишків вільного кристаболіту та інших форм кремнезему, що утворюються під час спікання. Застосування такого методу авторами дозволяє отримувати якісний керамічний матеріал з пористістю на рівні 49,3 % і розміром пор – 1,2 мкм.

У роботі [17] пропонується метод одержання мікрофільтруванних монолітних мембран багатокомпонентного складу: каолін, польовий шпат, кварц, борна кислота, активоване вугілля, метасилікат натрію, титан (II) оксид. Автори мотивують наявність великої кількості компонентів і надають кожному з них певне функціональне призначення, а саме:

- каолін та польовий шпат використовується для забезпечення низької пластичності та вогнетривких властивостей;

- кварц забезпечує високу механічну та термічну стабільність;

- активоване вугілля застосовується зметою одержання високопористої текстури матеріалу;

- борна кислота володіє здатністю за температур спікання підвищувати механічну міцність завдяки утворенню металевих метаборатів, а також діяти як колоїдний агент для поліпшення дисперсійних властивостей та однорідності кераміки;

- метасилікат натрію виконує роль сполучного компоненту, якій зв'язує складові керамічного матеріалу шляхом утворення силікатних зв'язків, чим покращую механічні властивості продукту.

Наявність багатокомпонентної системи і можливість варіювати складом суміші дозволяє регулювати кінцеві властивості керамічних мембран, контролювати їх ефективність. Автори [17] також підтвердили тезу про те, що підвищення температури прожарювання сприяє збільшенню розміру пор керамічної матриці.

Другий шар композитних мембран є проміжним і слугує для регулювання потоку і структурного переходу від підкладки з великим розміром пор до верхнього шару мембрани, який відповідає саме за процес розділення компонентів і має найменший розмір пор. Для створення проміжного шару вдало використовують більш дрібнодисперсні порошки та низку методів, таких як: ущільнення шлікеру на підкладці, покриття методом занурення (deep-coating), золь-гель метод тощо. Автор [14] у своїй роботі показує можливість утворення проміжного шару методом занурення підкладки у суспензію $ZrO_2$ (1,5 % об.) з подальшим прожарюванням за температури 1100 °С. Аналогічні дослідження виконувались авторами роботи [18], у яких наведено процес отримання проміжного шару з каоліну і $ZrO_2$ (3 %) з подальшим спіканням за температури 1050 °С. Автори акцентують увагу на необхідності так званого «моста» між макропористою каоліновою підкладкою і верхнім активним шаром для запобігання

проникнення верхнього шару у підкладку за високих трансмембранних тисків.

Верхній (селективний) шар керамічної мембрани є найважливішим шаром, який відповідає за активність мембрани, тобто за її селективність і ступінь розділення компонентів. Цей шар синтезують різними методами, що здатні забезпечити утворення нанопоруватого матеріалу: золь-гель метод, метод хімічного осадження, осадження атомного шару, анодного окиснення, гідротермальний метод, CVD метод тощо. З метою отримання активного шару мембрани з заданими характеристиками дослідники пропонують контролювати різні параметри: природу прекурсорів, pH середовища, кінетику осадження, температуру термічної обробки.

Золь-гель метод у виготовленні композитних мембран передбачає утворення дрібнодисперсних частинок (від 1 нм до 0,1 мм) у рідкому середовищі (золь) з подальшою їх консолідацією і агломерацією при втраті вологи (утворення тримірного гелю), з подальшим нанесенням на опорну поверхню і термообробкою. Саме частинки золю (їх розмір і розподіл) зумовлюють майбутню мікро-, ультра- і нано- структури мембранного шару після прожарювання. Цей метод дозволяє отримувати однорідні структури нанесених покрить, як вихідні матеріали для золь-гель синтезу використовують металоорганічні сполуки, алкоксиди (Me(OR)n, де Me – Zr, Ti, Al, Si тощо, R – алкильна група), солі металів [13].

Можливість вибору і введення in suit різних прекурсорів/добавок дозволяє регулювати однорідні структури керамічних матеріалів на елементному рівні, що надає індивідуальність мембрані, а отже і селективність у відповідному напрямку. Золь-гель методом можна точно регулювати хімічний склад продуктів реакції і здійснювати їх модифікування.

Так у роботі [19] показано застосування золь-гель методу для виготовлення симетричних керамічних мембран на основі $Al_2O_3$ і $TiO_2$.

Композит містив 40 – 50 мас.% $Al_2O_3$ або $TiO_2$, $Na_2CO_3$, $H_3BO_3$, $SiO_2$, $KAlSi_3O_8$, фосфорні добавки 2 мас.%. Гідроліз проводився у водно-спиртовому середовищі поліетиленгліколю (polyethylene glycol (PEG), 0,25 мас.%) і порошку полівінілового спирту (polyvinyl alcohol (PVA), 0,2 – 0,4 мас.%). У роботі продемонстровано вплив варіювання температури прожарювання на утворення мікро- структур отриманих керамічних матеріалів, доведено збільшення розміру пор від зростання температури спікання. Отже формування однорідної суспензії методом золь-гелю з точним дотриманням пропорцій прекурсорів і підбір температури спікання дозволяв отримувати ромбоедричну та тетрагональну структуру керамічних мембран на основі $Al_2O_3$ і $TiO_2$ для МФ-фільтрування.

Мембрани з асиметричною багатошаровою структурою мають такі недоліки: по-перше, процес багатошарового формування та спікання є доволі вартісним, по-друге, легко виникають дефекти між шарами через різку зміну розміру керамічних частинок. Ці недоліки, а особливо вартість виробництва складних багатошарових мембран, обмежують їхнє застосування і спонукають науковців шукати нові способи спрощення виробничого процесу. У даний час проводяться активне дослідження промислових відходів, природних полімерів та геологічної сировини, такого як каолініт, діатоміт та природні цеоліти як низьковартісних пористих матеріалів.

У роботі [20] показано ефективність очищення пластової води (ПВ) мембранним способом. Пластова вода – побічний продукт, що знаходиться в колекторах нижче за вуглеводневий шар у свердловинах здобичі нафтових продуктів і містить неорганічні та органічні сполуки, такі як: хімікати, солі, розчинені гази, диспергувані та розчинені олії, мастила, а також токсичні і радіоактивні важкі метали, такі як хром, кадмій, свинець, барій, уран. Крім того, деякі мікроорганізми можуть розвиватися у живильному середовищі ПВ. Оскільки керамічні мембрани мають великі переваги за своїми механічними, хімічними та термічними характеристиками та мають переваги

у роботі в суворих умовах їх використовують в процесі обробки ПВ без попередньої обробки води перед подачею на мембрану.

Нанокомпозити титан (II) оксиду ($TiO_2$), що були синтезовані золь-гель методом і нанесені на активний шар бентонітової гідролізованої мембрани, показали високу продуктивність потоку очищеної води до 337,05 $дм^3/год \cdot м^2$ бар (Ti-Ben 30) та 438,33 $дм^3/год \cdot м^2$ бар (Ti-Ben 60). Ефективність відокремлення олії сягала до 99 %. Приготування золю $TiO_2$ здійснювалось шляхом змішування титан бутоксиду, етанолу та оцтової кислоти для одержання розчину прекурсору $TiO_2$. Перед нанесенням покриття зануренням (метод deep-coating) бентонітові мембрани заливали з обох кінців плівкою політетрафторетилену (ПТФЕ), щоб уникнути попадання розчину золю $TiO_2$ в порожнини мембран. Мембрани занурювали в етанол на 30 хв, а потім занурення відбувалось у розчин золю $TiO_2$ з витримкою за різного часу щеплення (30, 60 і 90 хв). Далі бентонітові мембрани з покриттям сушили протягом 1 години за кімнатної температури перед повторним циклом процесу нанесення покриття методом занурення. Після цього мембрани висушували в сушильній шафі протягом 30 хв для видалення вологи та прожарювали за температури прожарювання 400 °C.

Використання природного каолініту є перспективним у виготовленні матриць керамічних мембран. Так на основі каолініту (хімічний склад мінералу мас.%: Si (43,52), Al (17,90), K (8,05) і Ca (0,28)) створено $TiO_2$-каолінітні мембрани та вивчено їх застосування у фільтруванні води [21]. У дослідженні оцінено вплив вмісту $TiO_2$ (1, 1,5, 2 та 2,5 мас.% титан оксиду) на фізико-хімічні характеристики та ефективність фільтрування води. Характеристики керамічної мембрани з різним вмістом $TiO_2$ оцінювалися на здатність видалення іонів Fe, Mn, нітратів ($NO^{3-}$), завислих речовин та зменшення кількості бактерій у процесі зворотного фільтрування. Виявлено, що додавання $TiO_2$ впливає на формування пористої структури, і навіть, на фільтруючу здатність мембрани. Аналіз механізму забруднення мембрани

показав, що розподіл пор у мембрані істотно впливає на ефективність фільтрування. У цьому дослідженні керамічна мембрана з вмістом $TiO_2$ 1,5 % продемонструвала найкращі результати зниження вмісту іонів Fe, Mn, $NO^{3-}$ і бактерій у очищеній воді.

У роботі [22] показано, що наночастинки $TiO_2$ ($TiO_2$-NPs) слугують ефективними каталізаторами фотокаталітичної деградації органічних речовин. З метою запобігання втрати наночастинок з потоком води їх (TiO2-NPs) запропонували іммобілізувати на підкладці, яка являє собою нановолокна цирконій оксиду/кремнезему. Виявлено, що нанесення покриття $TiO_2$ на поверхню нановолокон покращує роздільну здатність мембрани, а також здатність до фотокаталітичної деградації органічних полютантів. Розмір пор покритої $TiO_2$ мембрани був меншим, ніж у вихідної мембрани, за рахунок чого мембрана затримувала понад 99,6 % полімерних частинок розміром 0,5 мкм. Крім того, покрита $TiO_2$ мембрана показала чудову адсорбцію/розкладання гумінової кислоти (HA, 88,2 %), метиленового блакитного (MB, 92,4 %) та тетрацикліну (TC, 99,5 %). Проведено шість фільтрувань з метою оцінки можливості повторного використання покритої $TiO_2$ мембрани, які показали, що ефективність адсорбції/розкладання HA, MB та TC знижувалась на 3,7 %, 2,8% та 2,2 % відповідно. У дослідженні також розглядається аспект здатності мембрани одночасно виконувати розподіл та розкладання полютантів з наданням функції самоочищення мембрані.

Важливою характеристикою мембранного способу очищення є небезпека бактеріального фоулінгу поверхні мембран. З метою запобігання біообрастання поверхні мембран або з метою підвищення здатності до її самоочищення вдаються до різних методів: модифікування поверхні мембран, використання різних способів і реагентів промивки, застосування конструкцій мембранних модулів, що забезпечує зменшення фоулінгу. Але відомий факт, що полімерні мембрани більш схильні до біобрастання ніж

керамічні, завдяки їх складу, структурі матеріалу та конструкційним особливостям. У роботі [23] проведено дослідження для чотирьох керамічних ($Al_2O_3$, $ZrO_2$, $TiO_2$, SiC) та PES/PVP полімерної мембрани в процесі видалення органічних речовин. Шляхом дослідження збільшення трансмембранного тиску (ТМТ) через забруднення мембрани за постійного потоку 150 дм$^3$/(м$^2$·год)· встановлено, що швидкість збільшення ТМР обернено до виміряного розміру пор мембран. Мембрани $TiO_2$ і SiC мають у 5 і 24 рази більший середній розмір пор відповідно, ніж очікувалося, виходячи з інформації постачальника. Тож, забруднення мембран зменшується в порядку PES/PVP ≈ $Al_2O_3$ ≈ $ZrO_2$ > $TiO_2$ > SiC. Більш високий ступінь забруднення полімерної мембрани частково пояснюється її меншим співвідношенням об’єм/площа в порівнянні з керамічними мембранами. $TiO_2$ і особливо мембрана SiC показали низьке збільшення ТМТ через низьке оборотне та необоротне забруднення порівняно з $Al_2O_3$, $ZrO_2$ та полімерними мембранами.

У дослідженні [24] розповідається про виготовлення керамічних мембран для процесу мікрофільтрування бактерій у воді з задіянням низьковартісних прекурсорів. Як прекурсори використано: порошок фарфорової глини (tulsi-052, Китай), кварц та кальцій карбонат. Китайська глина здатна забезпечувати високі вогнетривкі характеристики мембран, кварц збільшує термічну та механічну стабільність мембрани. Карбонат кальцію «працює» як пороутворюючий агент і допоміжний засіб для спікання. Мембрани виготовлювали методом пресування/ущільнення та подальшого спікання за різних температур в діапазоні від 900 до 1100 °C. На основі отриманих результатів обрана мембрана, яка прожарена за 900 °C, як оптимальна. Окрім того, що мембрана показала відалення бактерій на 90,24 % з потоком пермеату – 50,65 дм$^3$/м$^2$·год, метод ультразвукової обробки такої мембрани максимально відновлює потік під час очищення води від бактерій, а обробка лугом очищує від ПЕГ. Це підтверджує той факт, що

керамічні мембрани через свою стійкість до агресивних середовищ, здатні спрощувати процес їх очищення, не використовуючи поверхнево-активні речовини.

У дослідженні [25] повідомляється про розробку нових керамічних мікрофільтрувальних мембран, виготовлених із сумішей низьковартісної сировини (каолін, бентоніт і вапняк) та ефективність їх використання у процесі затримання у водному середовище бактерій, таких як Кишкова паличка та золотистий стафілокок (Escherichia coli та Staphylococcus aureus). Композиційна мембрана складом: 83 % каоліну, 10 % бентоніту і 7 % вапняку показала найкращий результат з водопроникності – 566 $дм^3/год \cdot м^2 \cdot бар$ і дозволила досягти 100 %-го видалення обох видів бактерій з води.

Дане дослідження [26] включає приготування мезопористих керамічних мембран з діатомових алюмосилікатних матеріалів, модифікованих $Ag/TiO_2$. Отримана мембрана показала високу термічну і механічну міцність, хімічну стабільність і здатність до іонного обміну в процесі видалення деяких важких металів та мікробних забруднень із забруднених річкових стоків. Мікробна деградація відбувалась за рахунок фотокаталітичної дії $Ag\text{-}TiO_2$. Для фотоактивування діатомової мембрани у видимій ділянці світла наночастинки срібла інтеркалювали у нанопорошок $TiO_2$ з отриманням $Ag\text{-}TiO_2$ (STOX). Як джерело іонів срібла використовували арґентум нітрат ($AgNO_3$), як дисперсійне середовище – етанол, як відновник – 1 % розчин натрій карбонату. Отриманий твердий матеріал $Ag\text{-}TiO_2$ сушили за 100 °C, після чого порошок прожарювали за 400 °C протягом 12 годин для видалення залишків органіки, а також для термічної дифузії матеріалу.

Керамічні матеріали готувались з використанням двох методів – ZEO-T і STOX-Z. Для ZEO-T приготовлений порошок $Ag\text{-}TiO_2$ (STOX) змішували разом з обробленим кислотою діатомовим алюмосилікатним порошком (ZEO) з метою гомогенізації суміші (рівномірного розподілу компонентів у

керамічному композиті) і досягнення механо-хімічних взаємодій частинок. Після цього проводили плавлення подрібненої суміші під тиском за температури 800 °С. Для приготування мембранного матеріалу STOX-Z оброблений кислотою порошок діатомового алюмосилікату повільно додавали в колоїдний розчин Ag-$TiO_2$ за безперервного перемішування. Суспензійний розчин, що утворився, перемішували з одночасним нагрівом протягом 2 годин, далі суспензію сушили. Зразки керамічних мембран STOX-Z і ZEO-T піддавали спіканню за температури від 900 °С до 1000 °С у печі протягом приблизно 12 годин для досягнення максимальної механічної стабільності. Керамічні мембрани STOX-Z і ZEO-T показали здатність адсорбувати іони важких металів (K, Mg, Mn, Ni). Крім того, ефективність видалення бактерій та грибків із забрудненої води отриманими мембранами сягало до 100 % та 70 % відповідно.

Дослідження [27] свідчить про виготовлення керамічних мембран, модифікованих титан оксидом ($TiO_2$) та графен оксидом (GO) за допомогою розпилення вакуумним методом. Модифіковані мембрани продемонстрували надзвичайно високу гідрофільність і негативний поверхневий заряд мембрани. $TiO_2$-GO-модифікована керамічна мембрана продемонструвала високий ступінь видалення гумінової кислоти (HA), дубильної кислоти (TA) (рисунок 1.3), фармацевтичних препаратів за умовою збереження відносно високого потоку пермеату. Керамічна мембрана, модифікована $TiO_2$-GO, також показала ефективність щодо протидії біообростанню поверхні, тобто показала сильну дію протибактеріальної адгезії, але виявила лише незначне пригнічення біологічного обростання після 24-годинного фільтрування.

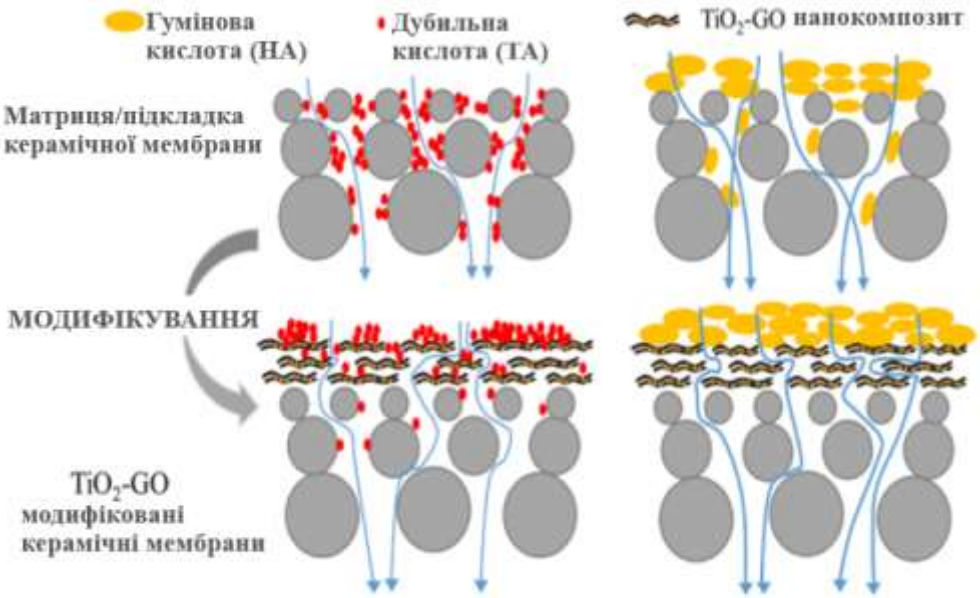



Рисунок 1.3 – Схематична ілюстрація затримання гумінової кислоти (HA) і дубильної кислоти (TA) на поверхні $TiO_2$-GO-модифікованої керамічної мембрани

Робота [28] демонструє створення фотокаталітичних мембрани з багатошаровим покриттям матриці з алюміній оксиду золем Ag-$TiO_2$, який був попередньо синтезований золь-гель методом. Золь Ag-$TiO_2$ наносили методом занурення (deep-coating). Мембрани Ag-$TiO_2$ мали багатофункціональну мембранну дію, фотокаталітичну та антибактеріальну активність. Експеримент проводили із використанням реактора періодичної дії та фотокаталітичного мембранного реактора. Досліджено два фактора – фотокаталітична деградація та затримка адсорбційною мембраною Родаміну B. Найефективніша мембрана у фотокаталітичному мембранному реакторі видаляла до 1007 мг/м$^2$·год Родаміну B. У реакторі періодичної дії, який працював у темряві, мембрани змогли видалити більше ніж 5 КОЕ/г Escherichia coli. Мембрана з найвищим відсотком включеного Ag була здатна видалити близько 7 КОЕ/г Escherichia coli. під час роботи в фотокаталітичному мембранному реакторі.

У роботі [29] синтезували наночастинки Ag золь-гель методом. Аналіз структури і морфології нанокомпозитів $Ag/TiO_2$ підтвердив рівномірно розподілені та закріплені на поверхні $TiO_2$ частинки Ag. Показано зниження електронно-діркової рекомбінації, яке сприяло підвищеній фотокаталітичній інактивації бактерій. Вивчено вплив вмісту нанорозмірного Ag на фотокаталітичні властивості $TiO_2$ щодо інгібування бактерій в умовах опромінення денним світлом. Крім того, показана висока антибактеріальна активність $Ag/TiO_2$ у присутності УФ-світла щодо грампозитивних Staphylococcus aureus та грамнегативних бактерій Escherichia coli. Багаторазові антибактеріальні дослідження продемонстрували потужну антибактеріальну природу нанокомпозитів та їх використання у широкому діапазоні біомедичних областей.

У дослідженні [30] нанокомпозити $Ag\text{-}TiO_2$, $TiO_2\text{-}Ag$, Ag-Cu і Cu-Ag використано як антибактеріальні матеріали, для знешкодженн Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa та Staureusphyloco. Дослідження проілюструвало значну антипланктонну, антибіоплівкову та антиоксидантну активність нанокомпозитів $Ag–TiO_2$, $TiO_2–Ag$, Ag–Cu та Cu-Ag проти бактерій.

Огляд [31] інформує про фотокаталітичні керамічні мембрани, які завдяки своїй високій проникності, хорошій термічній, механічній, хімічній та біологічній стабільності, стійкості до ультрафіолету та довговічності успішно застосовуються у гібридних фотокаталітичних мембранних реакторах. Показано як вирішуються проблеми масштабування процесу обробки води з використанням фотокаталітичного мембранного реактора.

У роботі проаналізовано переваги використання мембранних технологій у поєднанні з фотокаталітичними процесами. За умови застосування фотокаталітичного мембранного реактора система уникає використання небезпечних хімічних речовин (наприклад, хлору, озону, перекису водню). У таких системах утворюється окиснювач HO•, який є «зеленим» окисником, і продукти окиснення ним органічних сполук є менш

токсичні та більш гідрофільні (тобто мають меншу тенденцію до біосорбції живими організмами). Оскільки HO• є другим за потужністю окиснювачем після газоподібного фтору система може бути більш енергоефективною, ніж фотоліз і соноліз. Низька селективність HO• забезпечує руйнування широкого спектру забруднюючих речовин. Однак, незважаючи на доведену ефективність у лабораторних дослідженнях, масштабне застосування фотокаталізатора в очищенні води та стічних вод обмежено. Однією з перешкод для широкомасштабного застосування є властиве явище обмеження масопереносу, яке контролює загальну ефективність процесу гетерогенного фотокаталізу, особливо в системі з іммобілізованим $TiO_2$.

Нанесення фотокаталітичних шарів $TiO_2$ на пористу керамічну підкладку передбачає різні технології нанесення покриття: хімічне осадження з пари, фізичне осадження з пари, покриття зануренням, спінінг-покриття, ковзне лиття, in situ гідротермальний/сольвотермічний синтез, аерозольне розпилення, піроліз розпиленням, радіочастотне магнетронне напилення, реактивне розпилення, плазмове напилення, електрохімічне осадження, тощо.

Блок-схема типових етапів виготовлення кеармічних мембрани золь-гель технікою представлена на рисунку 1.4. Асиметрична структура мембрани досягається шляхом нанесення на пористу основу двох і більше шарів золь-гелю. Зазвичай для кожного виду золю потрібно більше одного шару покриття, щоб забезпечити гладкість і однорідність покриття.

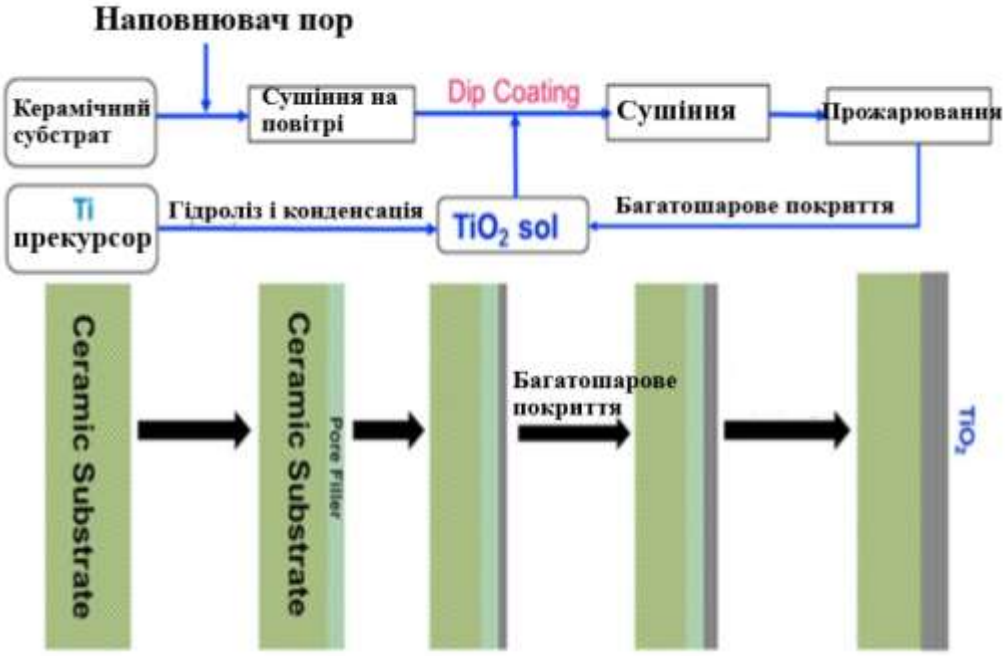



Рисунок 1.4 – Схема приготування мікропористих/мезопористих керамічних мембран золь-гель технікою

Методи нанесення селективного шару на матриці керамічних мембран зазнають значного прогресу останнім часом. Активно використовуються способи нанесення з отриманням тонких шарів/плівок, що сприяє досягненню тонкого розділення не тільки рідких, але й газових сумішей. Можливість регулювання пористої структури селективного шару сприяє виготовленню високоселективних мембран. Серед різних типів мембран, нанофільтрувальні (NF) мембрани з межами молекулярної маси (molecular weight cut-offs – MWCOs) менше 1000 Da і щільні ультрафільтрувальні (tight ultrafiltration – TUF) мембрани, що належать до ультрафільтрувальних (UF) мембран з MWCOs ~1000–10 000 Da знайшли широке застосування для пом’якшення води та розділення біомолекул і колоїдів.

Осадження атомним шаром з парової фази (atomic layer deposition – ALD) використовується для точного регулювання розмірів пор мембран та модифікування гідрофільних-гідрофобних властивостей їх поверхні завдяки можливості точного контроля товщини нанесеного шару.

Осадження молекулярним шаром з парової фази (molecular layer deposition – MLD), техніка нанесення тонких плівок, що має схожий механізм з ALD, заснований на послідовних і самообмежуваних поверхневих реакціях.

ALD в основному застосовують для осадження неорганічних матеріалів, таких як $Al_2O_3$, $TiO_2$ та ZnO, тоді як MLD застосовують для синтезу як органічних, так і органо-неорганічних гібридних матеріалів.

У дослідженні [32] задіяно осадження молекулярним шаром (MLD) як новий і добре контрольований метод для підготовки нанофільтраційних мембран очищення води з $TiO_2$ (пори приблизно 1 нм). Як прекурсори молекулярного нашарування використовували $TiCl_4$ та етиленгліколь. Такі нанофільтрувальні мембрани $TiO_2$ мали проникність чистої води до ~48 $дм^3/(м^2 \cdot год \cdot бар)$. Затримання солей-полютантів знаходилось на рівні 43 % для $Na_2SO_4$ і 35 % для $MgSO_4$. Високий ступінь затримання спостерігалось для Метиленового Блакитного (~96%). Крім того, ступінь видалення природніх органічних матеріалів сягала ~99% і протиобростаючі властивості та здатність до відновлення поверхні мембрани значно покращувались. MLD, як нова техніка виготовлення $TiO_2$-мембран нанофільтрування, має великий потенціал для контролювання складу мембрани, товщини та потенційного розміру пор за умови переходу до масштабного виробництва.

Використовуючи переваги як хімічної деградації органічних частин металевих плівок, так і об'ємної усадки, викликаної кристалізацією, у роботі [33] на пористих керамічних підкладках сформовано мікропористі шари $TiO_2$ і отримали нанофільтраційні та щільні ультрафільтраційні мембрани з регульованим обмеженням молекулярної маси (MWCO) в діапазоні від 630 Да до 3050 Да. Вперше здійснено 50 MLD-циклів осадження титанікону (TiEG) (рисунок 1.5). Покриття TiEG за допомогою MLD було реалізовано в реакторі ALD, при цьому камеру осадження нагрівали до 100 °C при вакуумуванні. Прекурсори $TiCl_4$ та етиленгліколь (EG) подавали в камеру

реактора з $N_2$ надвисокої чистоти по черзі в імпульсному режимі (з часом імпульсу $TiCl_4$ – 0,03 с і пари ЕГ з часом імпульсу – 0,1 с).

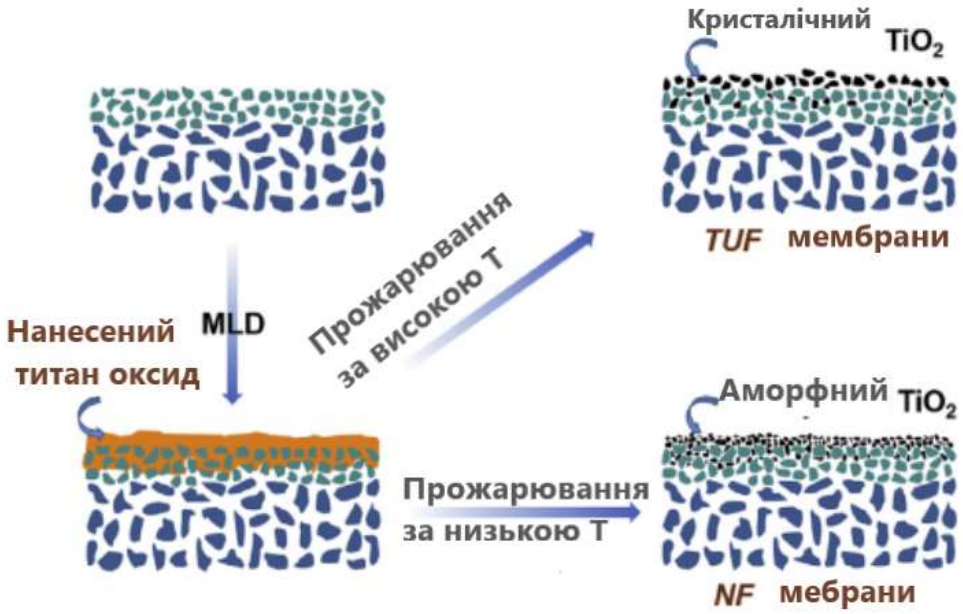



Рисунок 1.5 – Схематична ілюстрація виготовлення TUF і NF $TiO_2$ мембрани методом MLD та прожарюванням при різних температурах

Підсумовуючи, типовий цикл MLD складається з послідовності операцій, включаючи «імпульс $TiCl_4$ / експозиція / продувка $N_2$ / імпульс EG / експозиція / очищення $N_2$». Після 50-ти циклів пори керамічної мембрани були запечатані TiEG і направлені на прожарювання за різних температур, таких як 250 °C, 300 °C, 350 °C, 400 °C та 500 °C зі швидкістю нагрівання 1 °C/хв.

Оскільки мікропористий $TiO_2$ перетворювався з аморфного в кристалічний із підвищенням температури прожарювання, спостерігалася більша об’ємна усадка та більші ефективні розміри пор. Отже, як водопроникність, так і MWCO мембран були збільшені. Наприклад, мембрани після прожарювання за 400 °C показали щільну ультрафільтрацію ~30 $дм^3/(м^2 \cdot год \cdot бар)$ та проникність і ~3050 Da (MWCO). Ця робота надає простий та ефективний спосіб виготовлення керамічних мембран із

можливістю налаштування переходу між ультрафільтруванням, щільною ультрафільтруванням та нанофільтруванням.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

Асиметрічна керамічна мембрана складається з 3 шарів, перший – підтримуючий, синтезується на основі чистих порошків $Al_2O_3$, $TiO_2$, $SiO_2$, $ZrO_2$ та природних мінералів (каолін, глина, цеоліт, боксит, діатоміт тощо). Для створення проміжного шару (другого) вдало використовують більш дрібнодисперсні порошки та низку методів, таких як: ущільнення шлікеру на підкладці, покриття методом занурення (deep-coating), золь-гель метод тощо. Селективний (фінішній) шар є найважливішим, адже він запезпечує тонке розділення. Контролювати властивості селективного шару можна завдяки корегуванням природи прекурсорів, pH середовища, температури термічної обробки тощо.

Критичний аналіз літератури показав, що приготування селективного шару на основі титан (IV) оксид є широковживаним завдяки особливим властивостям $TiO_2$ і залишається актуальною задачею. Золь-гель та гідротермальний методи є найпривабливішими завдяки своїй простоті та універсальності. Вони дозволяють контролювати хімічний і фазовий склад різної морфології наночатинки, що одержуються за невисоких температур.

# 2 МАТЕРІАЛИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИКИ, МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 2.1 Матеріали

### 2.1.1 Характеристина ізопропоксид титану

У роботі використовувався Titanium (IV) isopropoxide 98 % виробника ACROS ORGANICS, Китай. Характеристика ізопропоктиду титану наведена в таблиці 2.1 [34]:

Таблиця 2.1 − Характеристика титан (IV) ізопропоксиду

| Показник | Значення |
|---|---|
| Молярна маса, г/моль | 284,22 |
| Густина при 20°С, г/см$^3$ | 0,96 |
| Температура плавлення, °С | 17 |
| Температура кипіння, °С | 232 |

### 2.1.2 Характеритистина дистильованої води

Дистильована вода ($H_2O$) – являє собою прозору безбарвну рідину без запаху та смаку. Характеристику $H_2O$ наведено в таблиці 2.2 [35].

Таблиця 2.2 − Характеристика дистильованої води

| Показник | Значення |
|---|---|
| Молярна маса, г/моль | 18,02 |
| Густина при 20°С, г/см$^3$ | 0,9982 |
| Температура плавлення, °С | 0 |
| Температура кипіння, °С | 100 |
| Електропровідність при 20°С, мкСм/м | 5 |

### 2.1.3 Характеристика ізопропіловго спирту

Ізопропіловий спирт ($C_3H_7OH$) – безбарвна прозора рідина, що має різкий запах. Характеристика ізопропілового спирту наведено в таблиці 2.3 [36].

Таблиця 2.3 − Характеристика ізопропілового спирту

| Показник | Значення |
|---|---|
| Молярна маса, г/моль | 60,09 |
| Густина при 20 °С, г/см$^3$ | 0,7851 |
| Температура плавлення, °С | -89,5 |
| Температура кипіння, °С | 82,4 |
| Вміст спирту у складі азеотропу, %мас | 87,7 |

### 2.1.4 Характеристика етиленгліколя

Етиленгліколь ($C_2H_4(OH)_2$) – органічна сполука, густа безбарвна рідина з солодкуватим смаком, використовується як рідкий абсорбент вологи з природного газу ($C_2H_6O_2$) [37]. Характеристика $C_2H_4(OH)_2$ наведена в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 − Характеристика етиленгліколя

| Показник | Значення |
|---|---|
| Молярна маса, г/моль | 62,068 |
| Густина при 20°С, г/см$^3$ | 1,113 |
| Температура плавлення, °С | -12,9 |
| Температура кипіння, °С | 197,3 |

### 2.1.5 Характеристика титан (IV) оксиду

Титан (IV) оксид ($TiO_2$) – кристалічна речовина, що в роздробленому стані являє собою білий порошок, який при нагріванні жовтіють. Не розчиняється у воді, а також стійкий до агресивних хімічних сполук. У природі існує у вигляді анатазної структури, структури рутилу та брукіта.

Характеристику титан (IV) оксиду представлено в таблиці 2.5 [38]:

Таблиця 2.5 − Характеристика титан (IV) оксиду

| Показник | Значення |
|---|---|
| Молярна маса, г/моль | 79,87 |
| Густина анатазу при 20 °С, г/см$^3$ | 4,05 |
| Густина рутилу при 20 °С, г/см$^3$ | 4,235 |
| Густина брукіту при 20 °С, г/см$^3$ | 4,1 |
| Температура плавлення, °С | 1843 |
| Температура кипіння, °С | 2973 |

## 2.2 Фізико-хімічні методи дослідження

Спектрофотометричні дослідження розчинів полютантів після проведення фотокаталітичної обробки їх у присутності зразків синтезованого титан (IV) оксид виконано за допомогою спектрофотографа Shimadzu uv-2600 spectrophotometer.

За допомогою методу ІЧ-спектроскопії визначено характер зв’язків в молекулах синтезованих зразків $TiO_2$ і наявність в ній функціональних груп, ІЧ-спектрів зразків використано спектрограф Varian Scimitar 1000 FT–IR. Shimadzu uv-2600. Цей прилад досягає найнижчого рівня розсіяного світла у своєму класі та дозволяє аналізувати зразки, включаючи органічні та неорганічні сполуки, біологічні зразки, оптичні матеріали та фотовольтаїку в

діапазоні довжин хвиль від 185 до 1400 нм у поєднанні з додатковим подвійним детектором, який інтегрує сферу ISR-2600Plus [39].

Визначення фазового складу $TiO_2$-зразків проведено з використанням рентгенівського дифрактометра Rigaku Ultima IV, який дозволив визначити: кількісний та якісний фазовий склад синтезованих порошків. Рентгенофазовий аналіз – являє собою дифракційний метод дослідження структури речовини. Основою цього методу є явище дифракції рентгенівських променів на тривимірній кристалічній решітці.

Зразки $TiO_2$ досліджували методом теплової десорбції азоту з використанням аналізатора пористої структури Quantachrome.

Для визначення морфології отриманих зразків застосовували скануючу електронну мікроскопію (СЕМ) з використанням мікроскопа РЭМ-106И, який дозволяв отримувати зображення поверхні об’єкту з високою просторовою роздільною здатністю.

### 2.3 Експериментальні методики синтезу

2.3.1 Методика синтезу $TiO_2$ гідротермальним методом

Для отримання зразків $TiO_2$ використано метод гідротермального синтезу: в реактор з мішалкою додавали ізопропіловий спирт та титан ізопропоксид в співвідношеннях, що наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 − Співвідношення компонентів в зразках

| Зразок | Об’єм ізопропілового спирту | Об’єм титан ізопропоксиду |
|---|---|---|
| 0,2/$TiO_2$ | 5,8 | 0,2 |
| 1/ $TiO_2$ | 5 | 1 |
| 2/ $TiO_2$ | 4 | 2 |
| 3/ $TiO_2$ | 3 | 3 |

При постійному перемішуванні в реактор по краплинках додавався 1 $см^3$ дистильованої води. Спостерігалось утворення білої суспензії. Після перемішування впродовж 15 хв, суспензію поміщали в тефлоновий реактор та сталевий корпус реактора (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 − Тефлоновий реактор зі сталевим корпусом

Реактор поміщали в піч на 12 год за температури 170 °С для синтезу $TiO_2$. Отримані зразки висушували за температури 80 °С для подальших досліджень.

2.3.2 Методика дослідження фотокаталітичних властивостей зразків $TiO_2$

Фотокаталітичні властивості синтезованих гідротермальним методом зразків титан (IV) оксиду досліджені на різних полютантах та за різної тривалості експерименту. Методика проведення фотокаталітичних досліджень була однаковою для двох полютантів (антибіотик – бісептол та барвник – конго червоний) і полягала у наступному: готували розчини полютантів з концентрацією 10 $мг/дм^3$; в бюкс переносили 40 $см^3$ розчину відповідного полютанту та додавали наважку зразку $TiO_2$ масою 0,03 г; надалі поміщали бюкс в УЗ-баню і витримували 200 с в режимі суспедування; потім бюкс поміщали під УФ-випромінювання при постійному перемішування на відповідний термін часу (5 хв, 10, 15 хв, 20 хв) для проведення фотодеградації розчину; після спливання часу фотокаталізу

суспензію фільтрували і отриманий відфільтрований від каталізатора розчин досліджували за допомогою спектрофотографії.

2.3.3 Приготування суспензії $TiO_2$ для нанесення на підкладку

Суспензію готували шляхом диспергування за допомогою магнітного перемішування 1 г порошку титан (IV) оксиду у водному розчині, що містив добре диспергований полівініловий спирт (ПВС) (12 мас.%) і невелику кількість диспергатору (0,2 мас.%). Як диспергатор використано поліакрилову кислоту (ПАА), яка покращувала стабільність дисперсії, тоді як ПВС виконував роль сполучного та підвищував в'язкість розчину, щоб забезпечити однорідний розподіл наночастинок титан (IV) оксиду.

2.3.4 Приготування суспензії/розчину селективного шару методом полімерних прекурсорів

Розчини, що наносились на мембрану, приготовано методом полімерних прикурсорів з різним співвідношенням ізопропоксиду титану (EtGl : Ac : TTIP = 16 : 4 : x, де x дорівнює 1, 2 та 4 відповідно). З метою одержання рівномірно розподіленого шару $TiO_2$ на поверхні підкладки, розчин ізопропоксиду титану наносили методом spin-coating. Розчин ізопропоксиду титану наносили продовж 30 с за швидкості обертання підкладки – 1000 об/хв, далі прожарювали зразки за температури 500 °C протягом 2 годин.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

У розділі надано опис методики проведення гідротермального синтезу $TiO_2$, методика приготування суспензії $TiO_2$ для нанесення на підкладку, методика приготування суспензії/розчину селективного шару методом полімерних прекурсорів, методика проведення фотокаталізу розчинів полютантів.

Також надана стисла характеристика фізико-хімічних методів дослідження: спектрофотометрії, ІЧ-спектроскопії, рентгенофазового аналізу, аналізу пористої структури, скануючої електронної мікроскопії.

# 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

## 3.1 Рентгенофазовий аналіз зразків $TiO_2$

На рисунку 3.1 наведено рентгенограми зразків $2/TiO_2$ та $0,2/TiO_2$, з яких видно, що в обох випадках отримано переважно анатазну модифікацію титан (IV) оксиду.

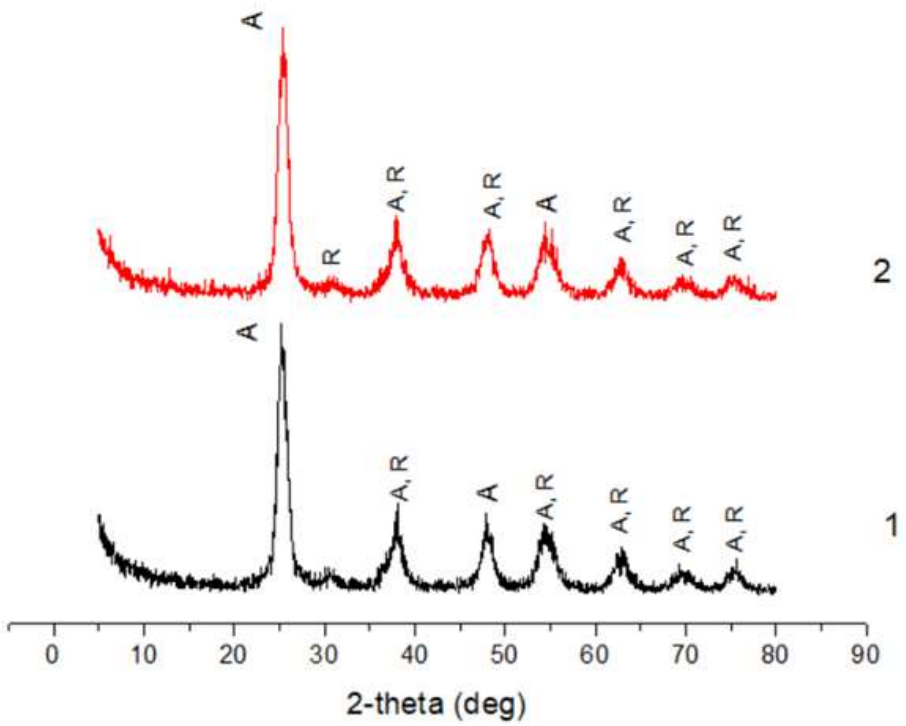



Рисунок 3.1 – Рентгенограми висушених золів: 1 – $2/TiO_2$ та 2 – $0,2/TiO_2$

Також видно, що найінтенсивніший пік на дифрактограмі обох зразків відповідають анатазній модифікації титан (IV) оксиду.

Фазовий склад та розмір кристалітів отриманих зразків титан (IV) оксиду в наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фазовий склад кристалітів зразків

| Зразок | Вміст фази анатазу, % | Вміст фази рутилу, % |
|---|---|---|
| 2/$TiO_2$ | 93 | 7 |
| 0,2/$TiO_2$ | 95 | 5 |

### 3.2 Інфрачервона спектроскопія

Ідентифікацію та дослідження хімії поверхні отриманих зразків проводили методом інфрачервоної спектроскопії. Інфрачервоні спектри пропускання записували за допомогою інфрачервоного спектрометра з перетворенням Фур'є. Інфрачервона спектроскопія – це різновид молекулярної оптичної спектроскопії, оснований на взаємодії речовини з електромагнітним випромінюванням в ІЧ діапазоні: між червоним краєм видимого спектра (хвильове число 14000 $см^{-1}$) і початком короткохвильового радіодіапазону (20 $см^{-1}$). Такий різновид спектроскопії дозволяє отримувати спектри у всіх агрегатних станах речовини. На рисунках 3.2, 3.3 та 3.4, 3.5 представлені спектри зразків.

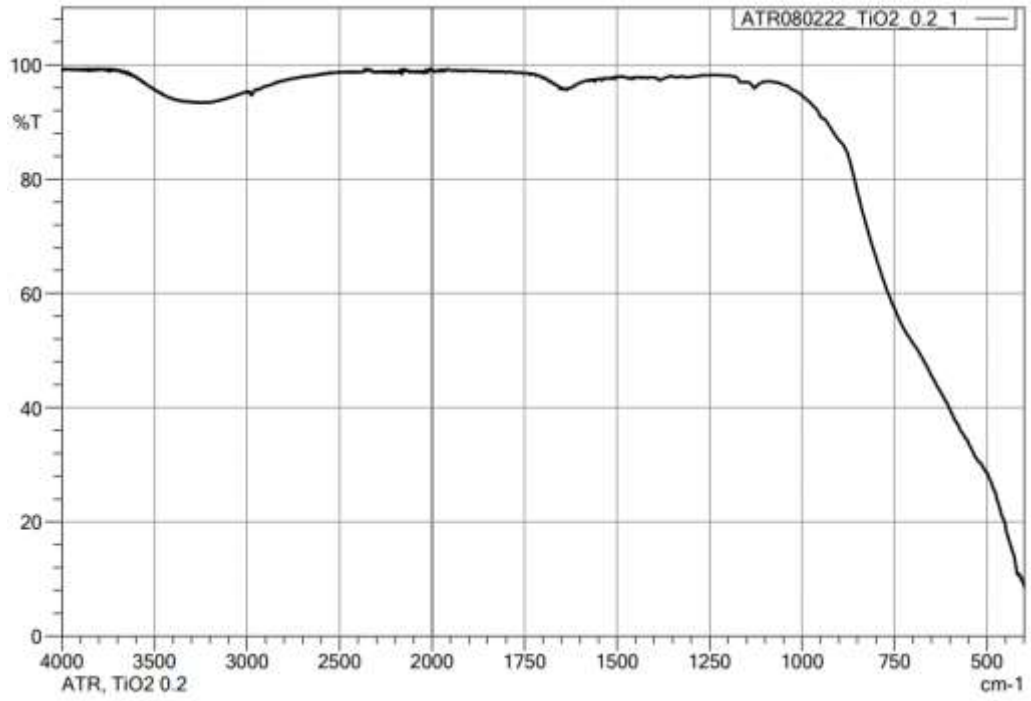



Рисунок 3.2 – Спектр зразка 0,2/$TiO_2$

Рисунок 3.3 – Спектр зразка 2/$TiO_2$

Рисунок 3.4 – Спектр зразка 1/$TiO_2$

Рисунок 3.5 – Спектр зразка 3/$TiO_2$

Із рисунків 3.2, 3.3 та 3.4 видно, що в інтервалі 3850 – 2600 $см^{-1}$ , спостерігається широка інтенсивна полоса поглинання, яка відповідає ν(OH). Коливання полоси поглиння при 2300 $см^{-1}$ відповідає наявності молекули $CO_2$. Полоса поглинання δ($H_2O$) має мінінум 1600 $см^{-1}$.

На рисунку 3.5 видно, що в зразку наявні залишки органічних сполук (інтервал 1250 – 1000 $см^{-1}$ ).

### 3.3 Фотокаталітичні властивості зразків $TiO_2$

На рисунках 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 представлено отримані спектри розчинів бісептолу після проведення їх фотокаталітичної деградації зі зразками 0,2/$TiO_2$, 1/$TiO_2$, 2/$TiO_2$, 3/$TiO_2$.

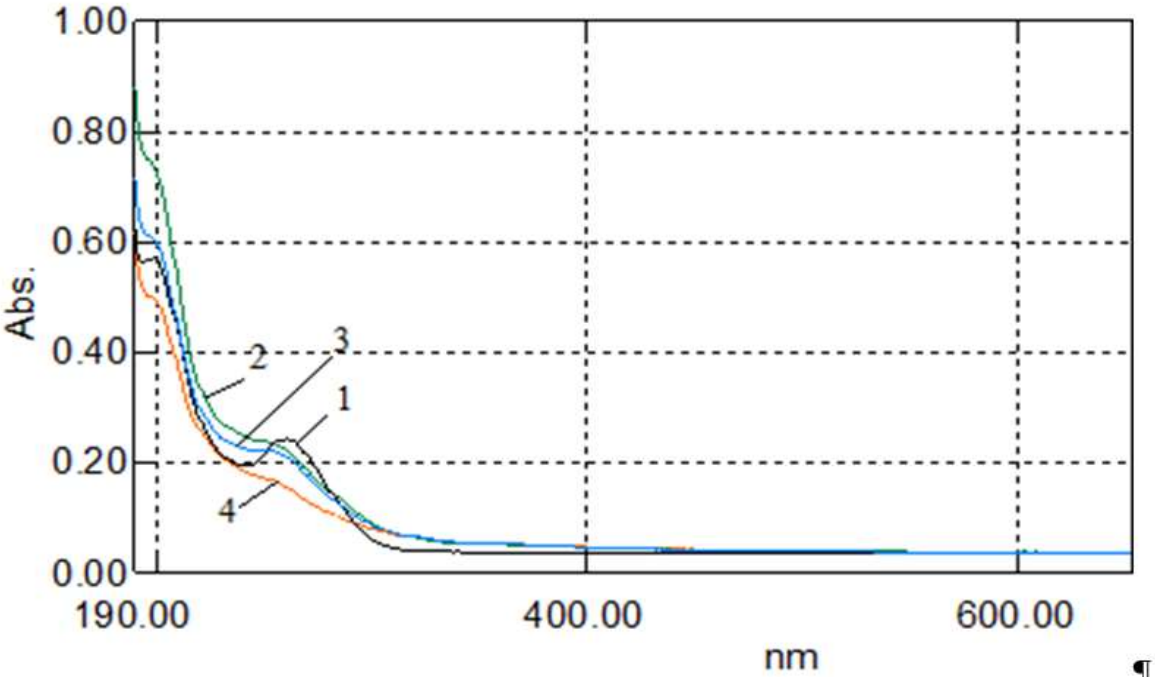



Рисунок 3.6 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину бісептолу зі зразком 0,2/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – зразок з чистим розчином бісептолу; 2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв.

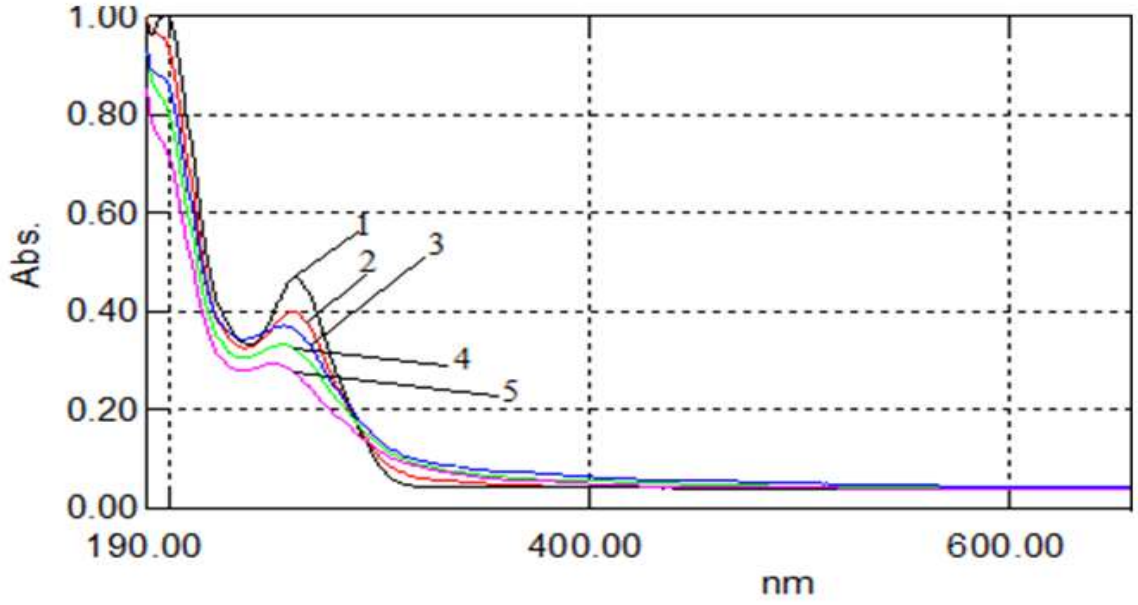



Рисунок 3.7 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину бісептолу зі зразком 1/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – чистий розчин бісептолу;

2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв; 5 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 20 хв.

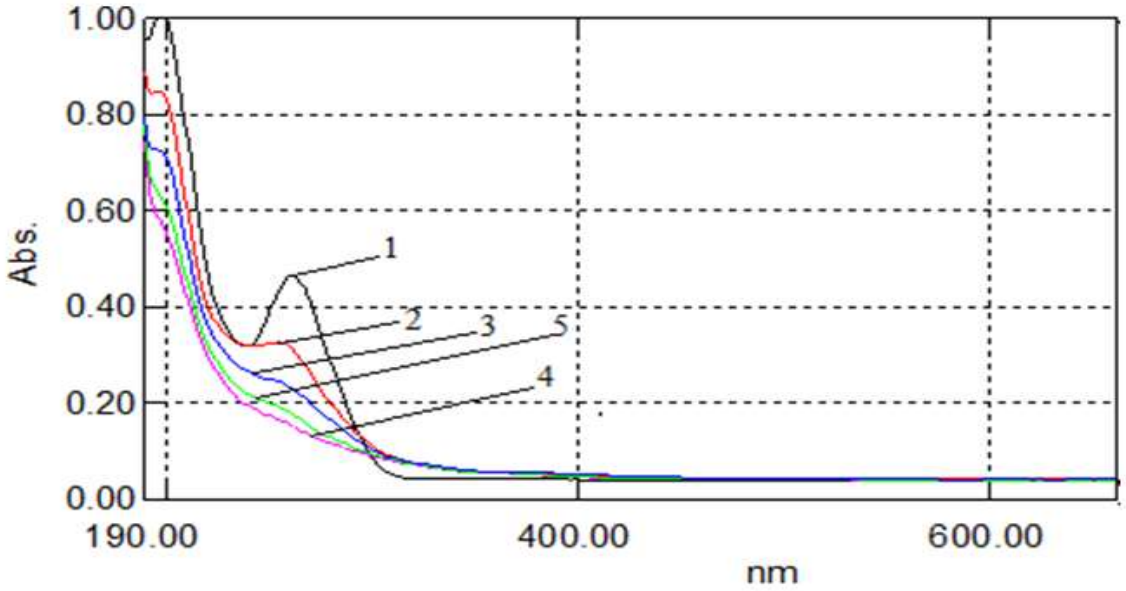



Рисунок 3.8 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину бісептолу зі зразком 2/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – чистий розчин бісептолу; 2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв; 5 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 20 хв.

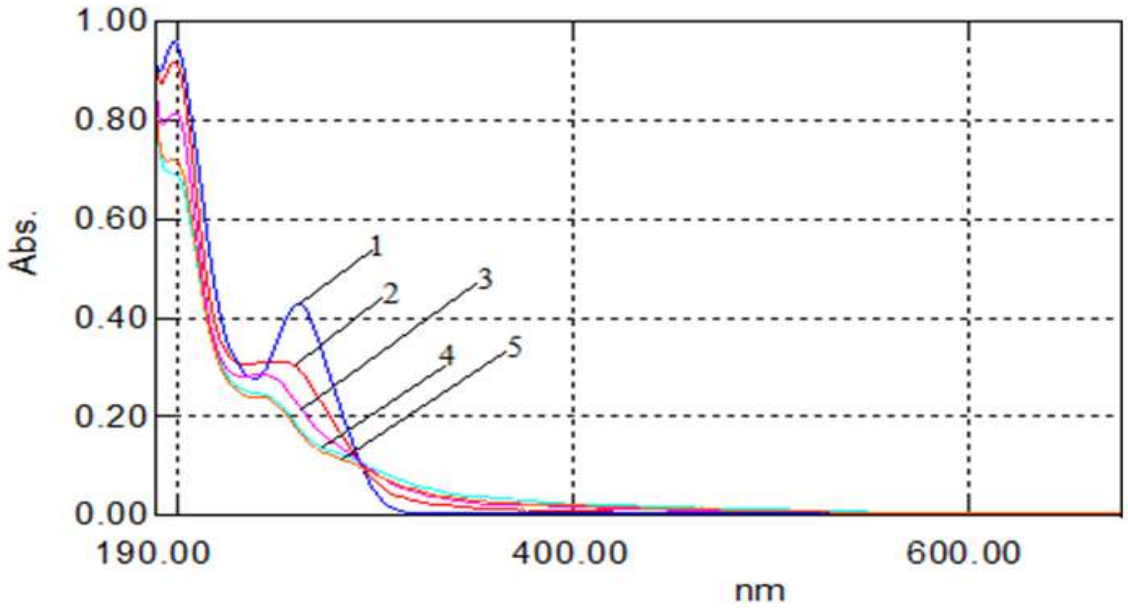



Рисунок 3.9 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину бісептолу зі зразком 3/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – чистий розчин бісептолу; 2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв; 5 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 20 хв.

Дослідження фотокаталітичної деградації розчину барвника конго червоного зі зразками 0,2/TiO2, 1/TiO2, 2/TiO2, 3/TiO2 наведено на наступних спектрофотограмах (рисунки 3.10, 3.11, 3.12, 3.13).

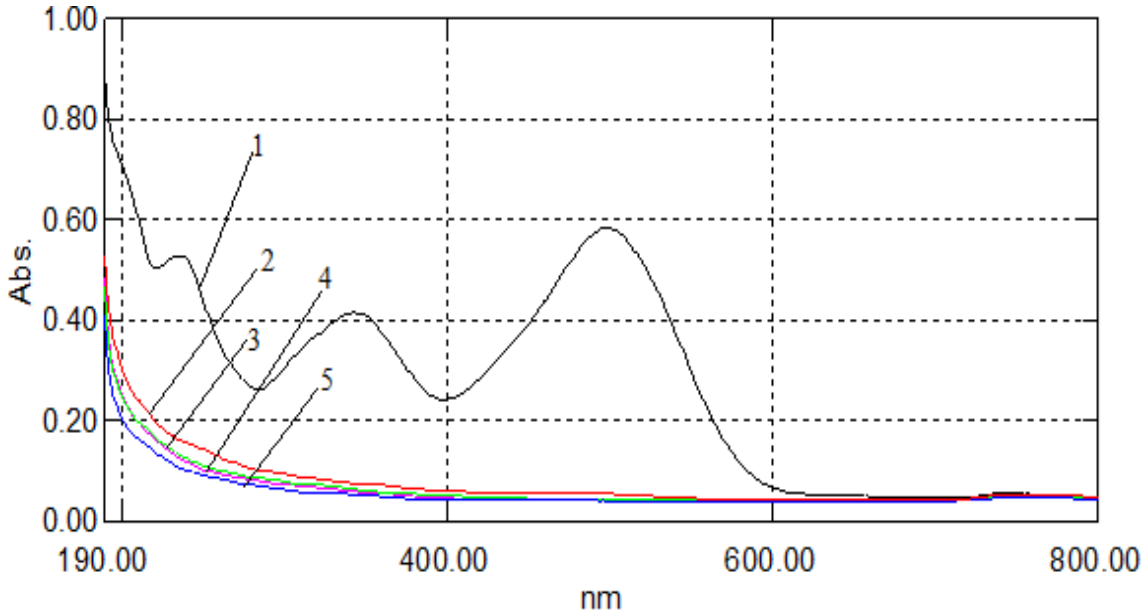



Рисунок 3.10 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину конго червоного зі зразком 0,2/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – чистий розчин конго червого; 2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 5 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 20 хв.

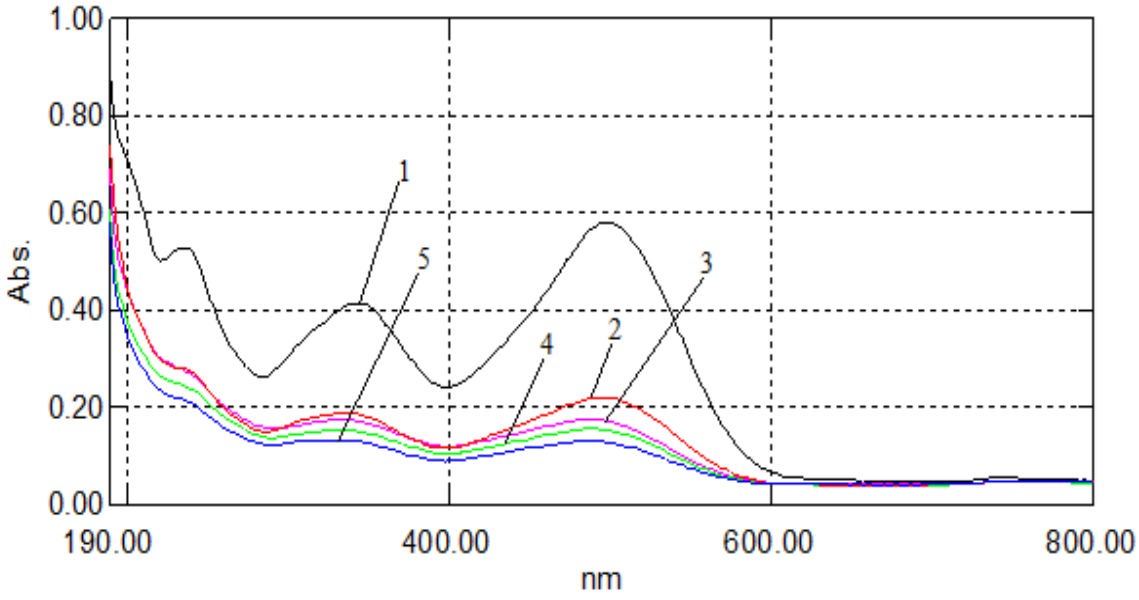



Рисунок 3.11 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину конго червоного зі зразком 1/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – чистий розчин

конго червого; 2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв; 5 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 20 хв.

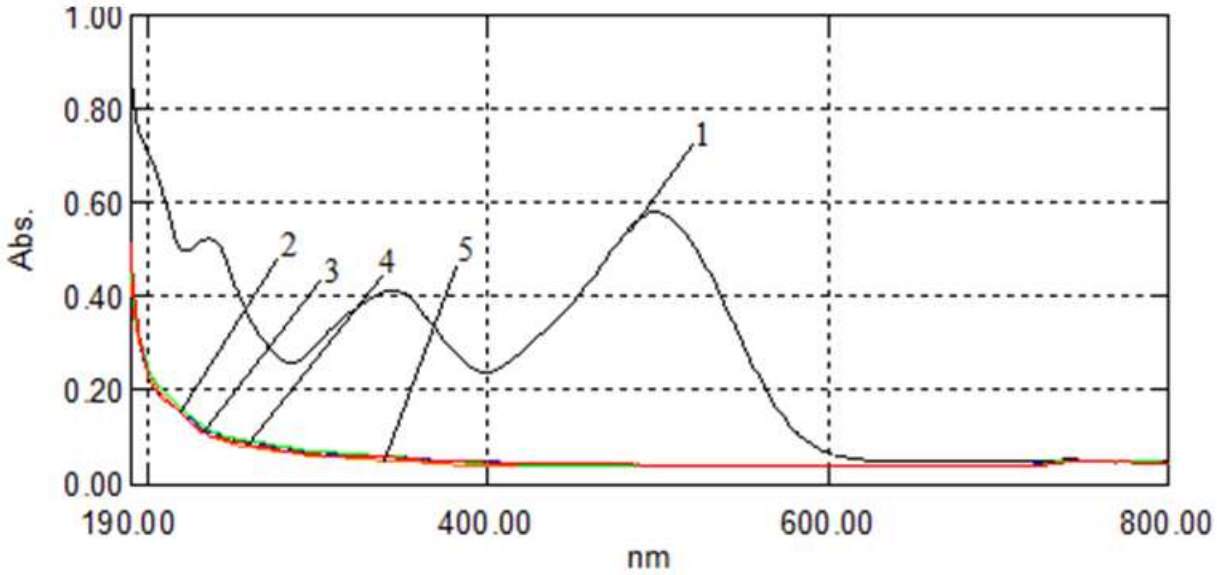



Рисунок 3.12 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину конго червоного зі зразком 2/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – чистий розчин конго червого; 2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв; 5 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 20 хв.

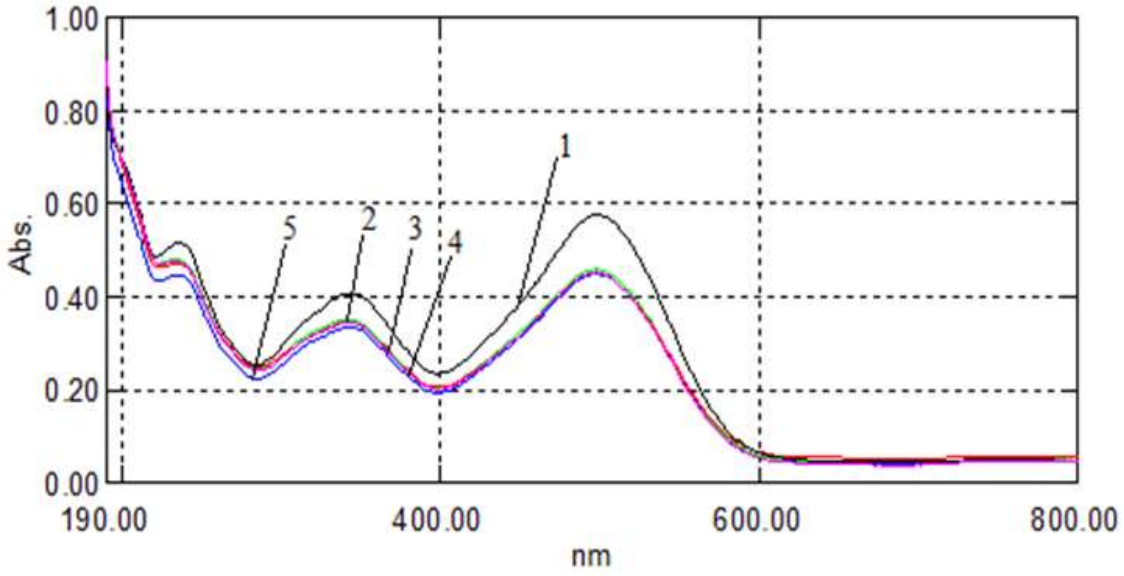



Рисунок 3.13 – Результати проведення фотокаталітичної деградації розчину конго червоного зі зразком 3/$TiO_2$ за різної тривалості: 1 – чистий розчин конго червого; 2 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 5 хв; 3 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 10 хв; 4 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 15 хв; 5 – розчин після проведення фотокаталізу протягом 20 хв.

На рисунку 3.14 представлено зображення двох розчинів для візуального порівняння: розчину конго червоного до УФ-опромінення та після нього зі зразком 2/$TiO_2$. З рисунку чітко видно, что після фотокаталітичної обробки повністю зникає яскраво-рожеве забарвлення розчину конго червоного, що надає змогу вже припустити ефективну фотодеградацію барвника.

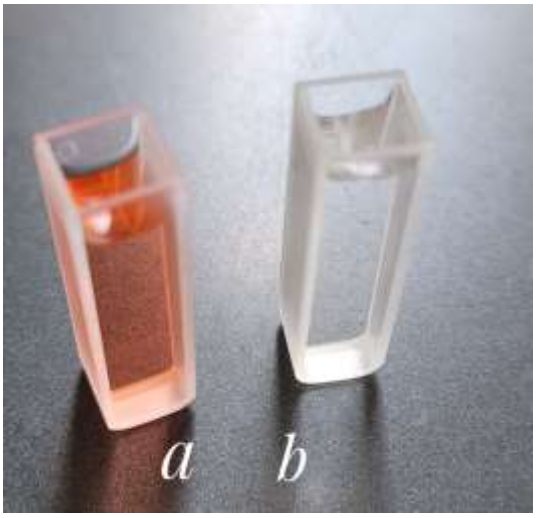



Рисунок 3.14 – Розчин коного червоного до і після фотокаталітичної обробки зі зразком 2/$TiO_2$: a – до проведення фотокаталізу, b – після проведення фотокаталізу.

Такі висновки, як видно згідно спектрофотограм, що наведено вище – повністю підтверджено. Найбільшу фотокаталітичну активність по відношенню до обох полютантів показали зразки 2/$TiO_2$ та 0,2/$TiO_2$ (рисунки: 3.6, 3.8, 3.10, 3.12).

### 3.4 Дослідження питомої площи поверхні зразків

З огляду на те, що зразки $TiO_2$ показали фотокаталітичну активність по відношенню до бісептолу та конго червоного, було цікаво дослідити їх питому площу поверхні. Дослідження питомої площи поверхні з використанням аналізатора пористої структури Quantachrome свідчить про доволі високе значення питомої площи поверхні для всіх зразків $TiO_2$. Середній радіус пор та питома площа поверхні наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Структурні характеристики синтезованих зразків $TiO_2$

| Зразок | 0,2/$TiO_2$ | 1/$TiO_2$ | 2/$TiO_2$ | 3/$TiO_2$ |
|---|---|---|---|---|
| Питома поверхня (за БЄТ), $м^2/г$ | 158 | 150 | 196 | 249 |
| Середній радіус пор (DFT), нм | 2,08 | 9,59 | 9,72 | 9,23 |
| Вміст $TiO_2$ у вихідній суспензії, % | 2,8 | 14 | 28,5 | 43 |

Зразок, що показав найкращий результат фотодеградації обох полютантів у розчині – 2/$TiO_2$. Ізотерма адсорбції-десорбції азоту для цього зразка наведена на рисунку 3.15.

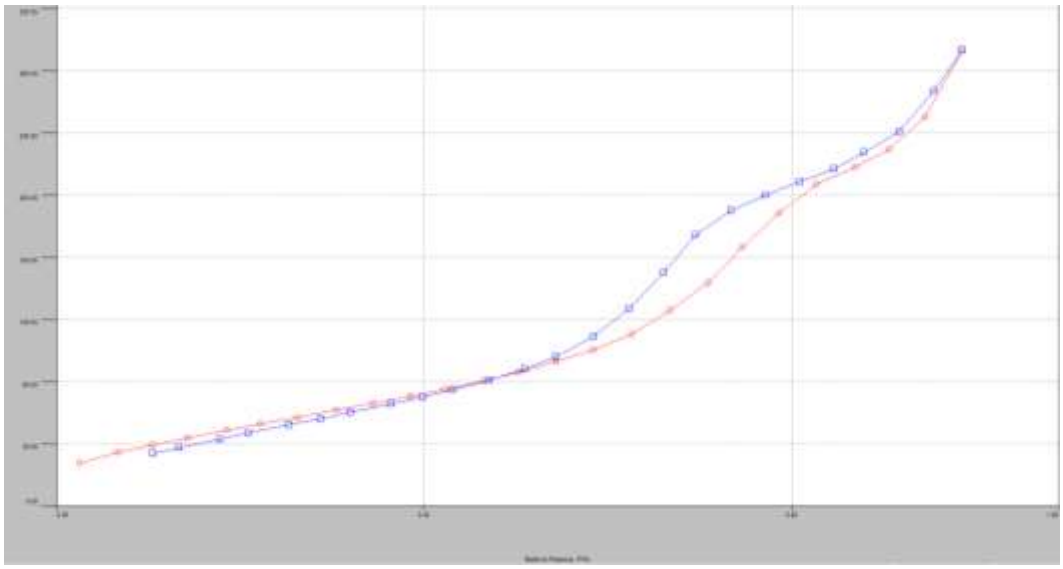


Рисунок 3.15 – Ізотерма адсорбції-десорбції азоту за поверхні зразка 2/$TiO_2$

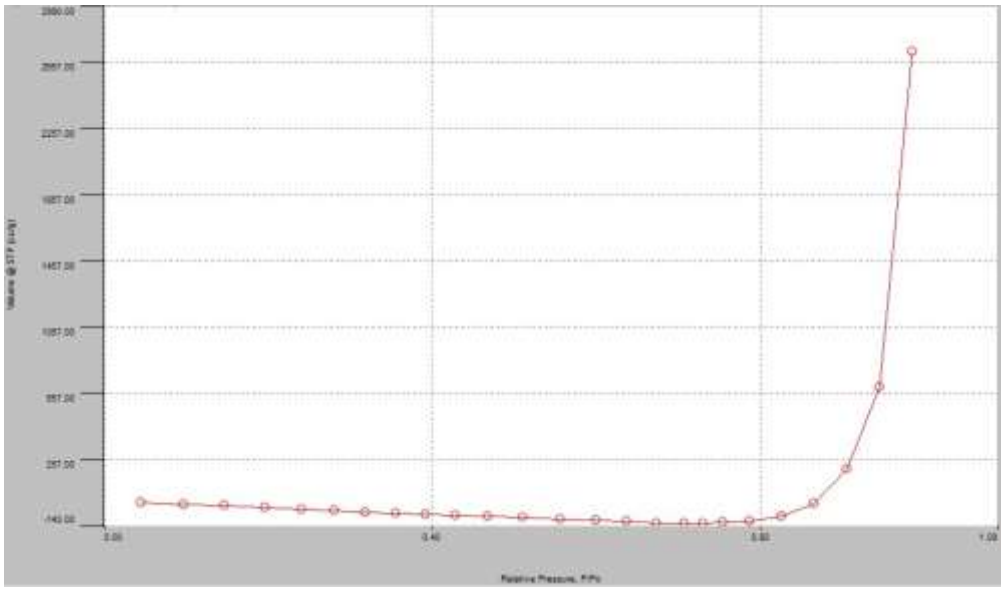


Рисунок 3.16 – Ізотерма адсорбції-десорбції азоту за поверхні зразка 1/$TiO_2$

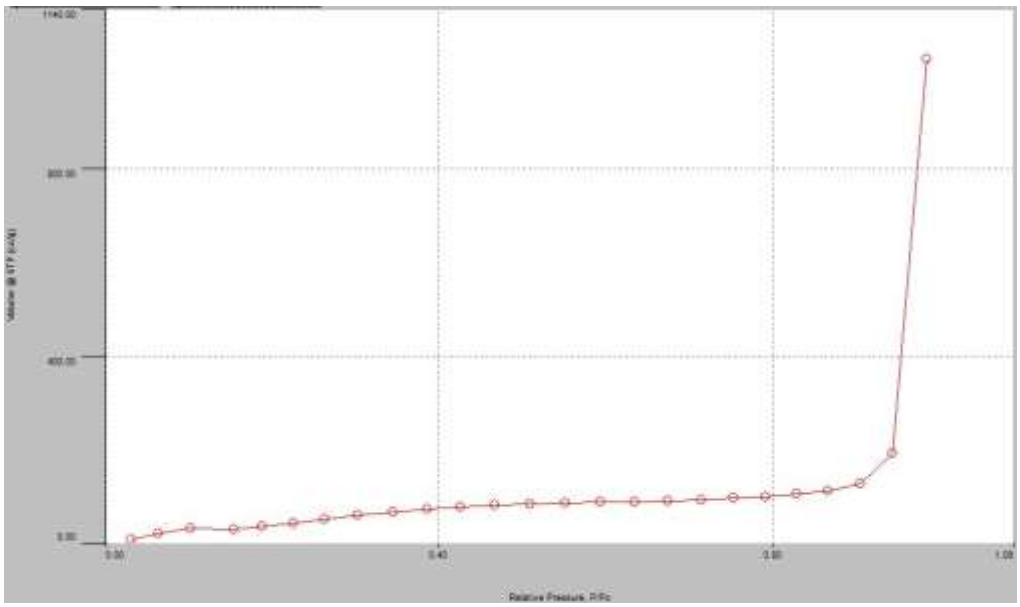


Рисунок 3.17 – Ізотерма адсорбції-десорбції азоту за поверхні зразка 3/$TiO_2$

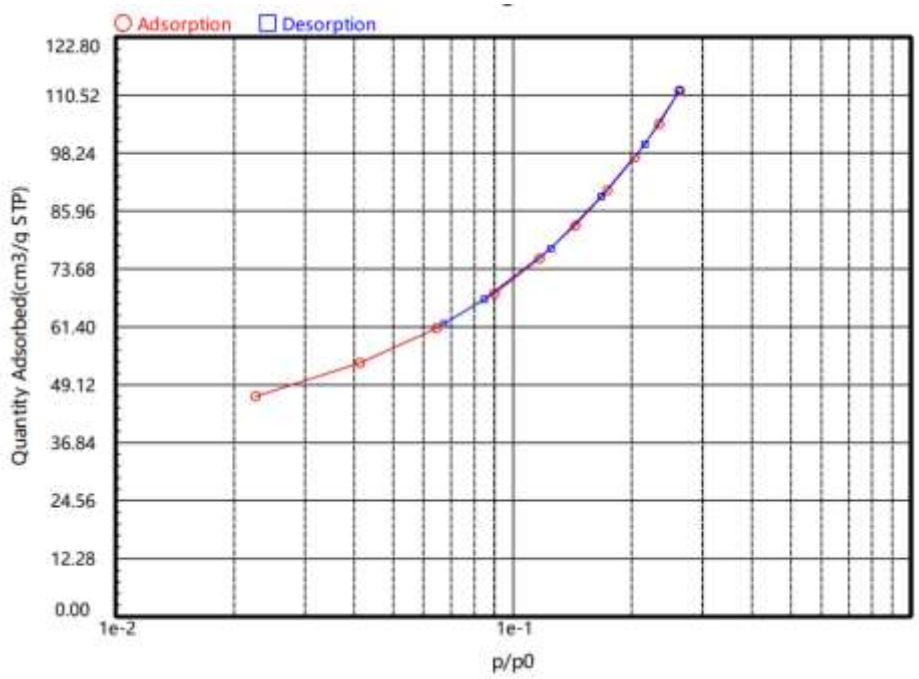



Рисунок 3.17 – Ізотерма адсорбції-десорбції азота за поверхні зразка 0,2/$TiO_2$

З наведених ізотерм можна зробити висновок, що зразок 2/$TiO_2$ має розвинуту мезопористу структуру, яка у поєднанні з доволі високою площею поверхні може сприяти високій фотокатлітичній активності, яку виявляє цей зразок.

### 3.5 Результати екпериментів селективного шару за різного температурного режиму

Наступним кроком було нанесення водної суспензії приготованих зразків на керамічну підкладку. Нанесення на керамічну мембрану відбувалося шляхом *dip-coating*, після чого зразки керамічних мембран сушили та прожарювали впродовж 2 годин за температур: 300 ºС, 400 ºС, 500 ºС, 600 ºС (рисунок 3.18).

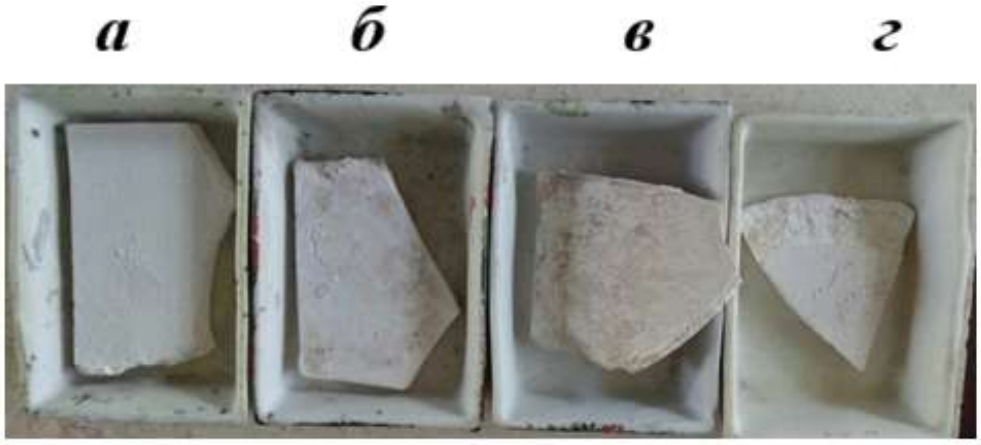



Рисунок 3.18 – Мембрани, на які нанесений шар суспензії на основі $TiO_2$, після прожарювання за різних температур : а) – 300 ˚С; б) – 400 ˚С; в) – 500 ˚С; г) – 600 ˚С.

### 3.6 Результати СЕМ аналізу зразків мембрани із селективними шарами $TiO_2$ нанесиними різними методами

Нанесення $TiO_2$ (розділ 2, п. 2.3.3) здійснювалось двома способами: spin-coating та dip-coating. Після цього покриті підкладки сушили за температури навколишнього середовища протягом 24 год, з подальшою стадією прожарювання за 800 °С протягом 3 годин. Важливо відзначити, що для отримання мембрани без тріщин використовувалася дуже низька швидкість нагрівання (4 °С/хв).

Морфологію селективного шару оцінювали за допомогою метода СЕМ бічного торця сколів мембран.

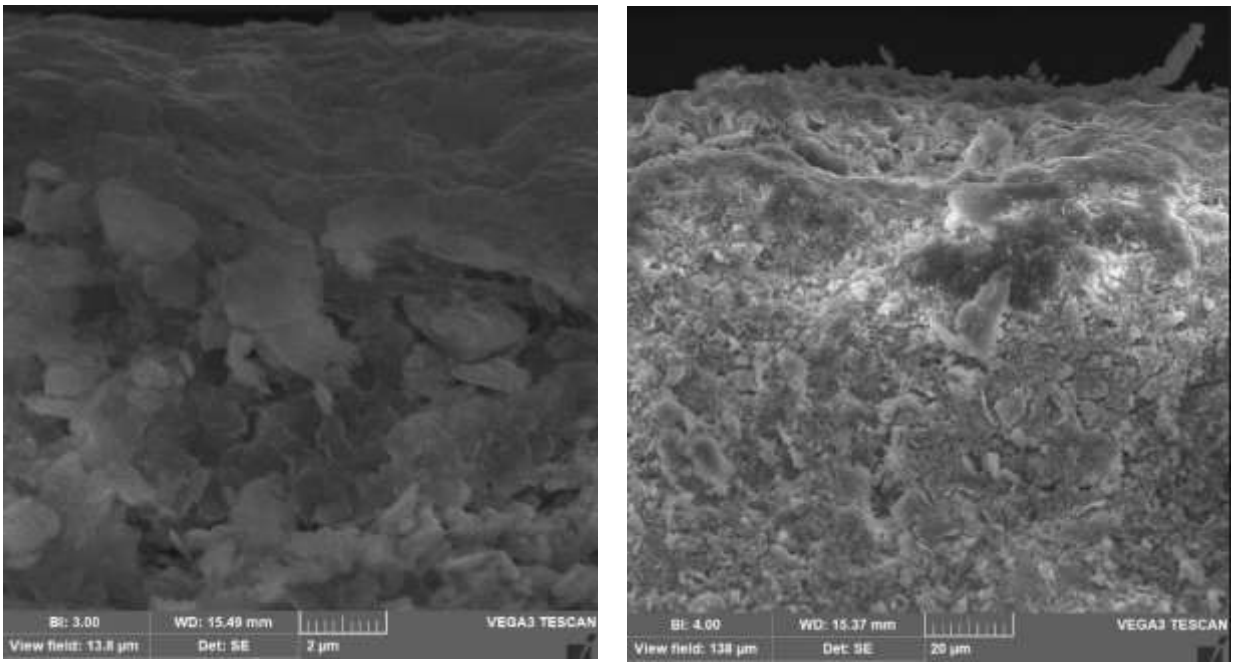



Рисунок 3.19 – Мікрофотографії поверхні селективного шару на бічному сколі зразка мембрани, на який здійснювалось нанесення суспензії $TiO_2$ методом spin-coating.

На рисунку 3.19 зображено зразки, для рівномірного розподіленя шару приготованої суспензії титан (IV) оксиду на поверхні матриці яких використовувся метод spin-coating (методом центрифугування): готовий розчин наноситься на підкладку під час її обертання (від 100 до 1000 об/хв). У роботі приготовану суспензію наносили продовж 30 с за швидкості обертання підкладки – 1000 об/хв, далі прожарювали зразки за температури 500 °С протягом 2 годин.

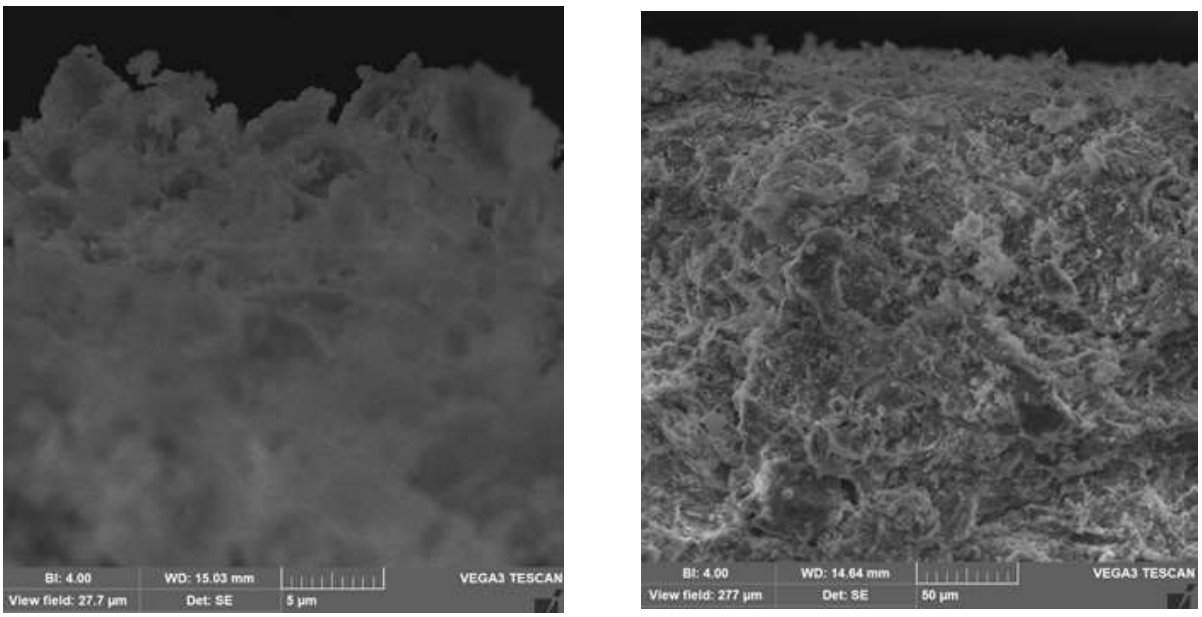


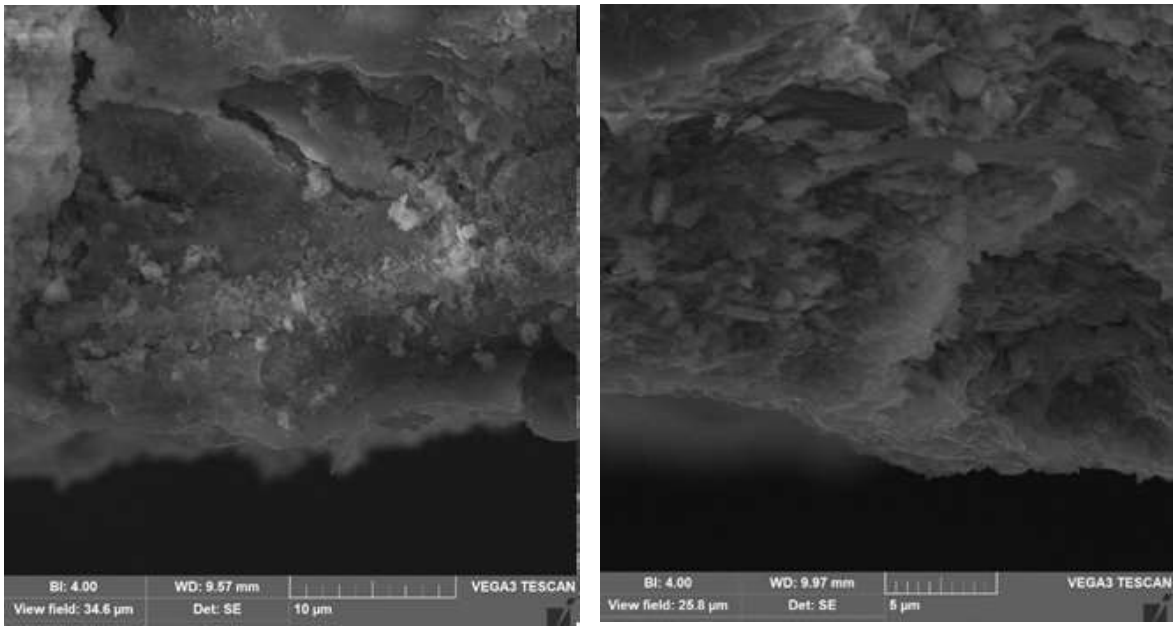

Рисунок 3.20 – Мікрофотографії поверхні селективного шару на бічному сколі зразка мембрани, на який здійснювалось нанесення суспензії $TiO_2$ методом dip-coating.

Метод dip-coating називають ще методом занурювання: підкладку занурюють в розчин при певній швидкості, затримують в розчині в нерухомому стані та виймають за постійної швидкості.

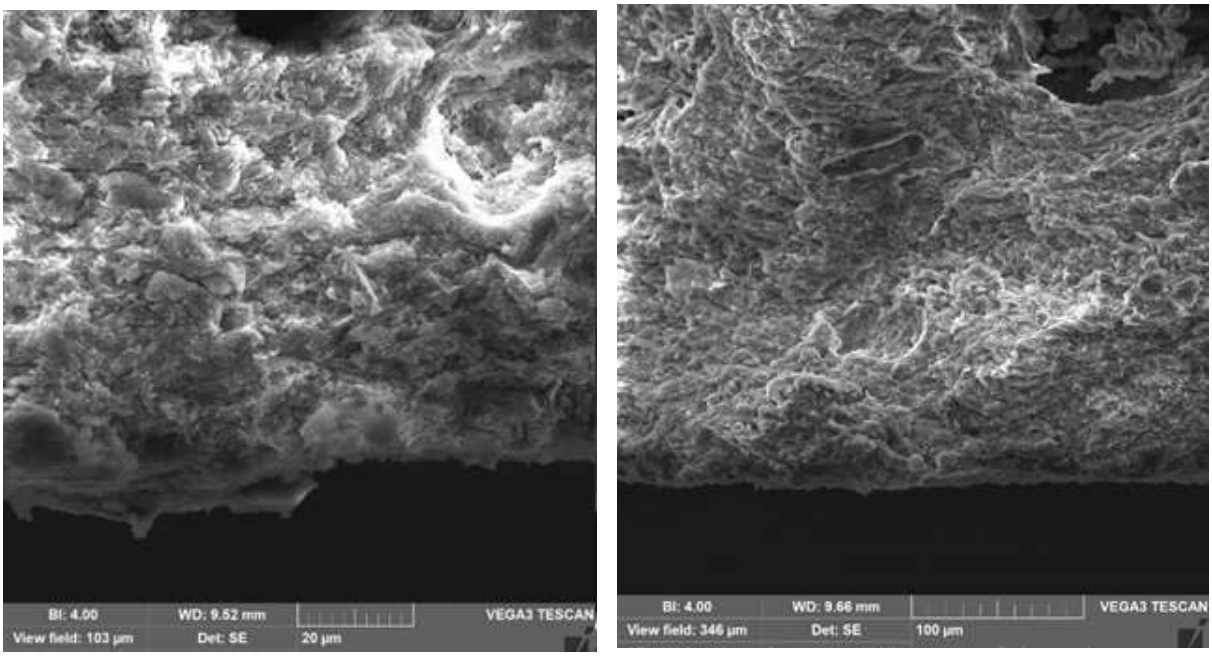
Зображення SEM показують морфологію нанесеного селективного шару, характерну для ультрафільтраційних і мікрофільтраційних мембран.

Товщину отриманого селективного шару оцінювали за допомогою метода скануючої електронної мікроскопії (СЕМ) торця бічних сколів мембрани. На мікрофотографіях (рисунок 3.21 а, б, в) продемонстровано неоднорідність підкладок та верхнього шару, а також різницю товщини селективного шару.

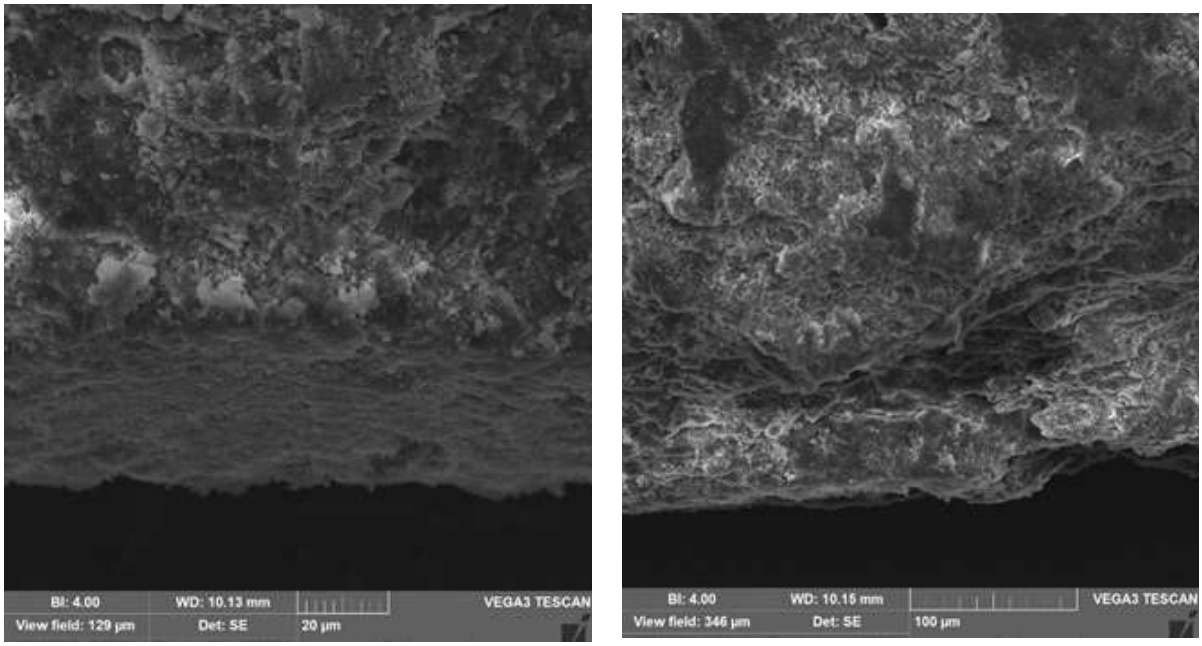
На рисунку 3.21 наведено зображення нанесеного на підкладку селективного шару $TiO_2$, приготованого методом полімерних прекурсорів (розділ 2, п. 2.3.4).


BI: 4.00
WD: 9.57 mm
VEGA3 TESCAN
View field: 34.6 µm
Det: SE
10 µm
BI: 4.00
WD: 9.97 mm
VEGA3 TESCAN
View field: 25.8 µm
Det: SE
5 µm

а)


BI: 4.00
WD: 9.52 mm
VEGA3 TESCAN
View field: 103 µm
Det: SE
20 µm
BI: 4.00
WD: 9.66 mm
VEGA3 TESCAN
View field: 346 µm
Det: SE
100 µm

б)




в)

Рисунок 3.21 – Мікрофотографії поверхні селективного шару на бічному сколі зразків мембран: а) – зразок з вмістом $TiO_2$ – 9,56 %, б) – зразок з вмістом $TiO_2$ – 13,01 %, в) – зразок з вмістом $TiO_2$ – 28,40 %.

Мікроскопічні знимки свідчать про характерне збільшення товщини селективного шару зі збільшенням вмісту $TiO_2$ в суспензії, що наносилась на поверхню підкладки, методом spin-coating.

Отримані СЕМ-зображення свідчать, що метод spin-coating дозволяє нанести суспензію рівномірнішим та тоншим шаром в порівнянні з методом dip-coating.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

Гідротермальним методом синтезовано зразки титан (IV) оксиду з різним співвідношенням ізопропілового спирту та титан ізопропоксиду. Провівши рентгенофазний аналіз, аналіз ІЧ спектроскопії, аналіз

фотокаталітичних властивостивостей з використанням різних полютантів, а також дослідивши питому площу поверхні зразків, було обрано для подальшого приготування селективного шару зразок 2/$TiO_2$.

Обраний зразок використовувався у приготуванні суспензій для нанесення на підладкладки різними методами. Виявлено, що метод spin-coating дозволяє наносити тонший шар покриття, однак, як і метод dip-coating, не забезпечує рівномірної поверхні мембрани.

# 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Мембранні технології все частіше зустрічаються у процесах водопідготовки. Існують різні види мембран, найпоширенішими в Україні є полімерні мембрани. Однак, провівши літературний аналіз, можна зазначити, що керамічні мембрани по деяким характеристикам являються врази ефективнішими. Саме це і стало передумовою створення даного стартап-проєкту. Отже, виникла така ідея, що якщо виготовити матрицю мембрани із дешевих українських глин, після чого покрити її активним шаром наночастинок використовуючи методи золь-гелю та гідротермальний , і таким чином забезпчити селективний шар мембрани. Ця технологія зможе забезпечити ВАУ-ефект даного продукту, а саме:

- зниження вартості мембран;
- збільшення терміну експлуатації мембрани (так як дана мембрана буде термо та хімічно стійкою);
- покращить якість очищення води, (антибактеріальні характеристики).

Перш за все необхібно:

1. Дослідити можливість використання даного методу насення наноматеріалів для відповідного рівння очищення води.
2. Вивчити та встановити бажаний рівень очищення води.
3. Визначити апаратне оформлення для реалізації даного стартапу.
4. Провести дослідження щодо різних характеристик частинок, що будуть використовуватись.
5. Дослідити ринок мембран, порівняти ефективність мембран з аналогами.

Назва стартап-проєкту – Виготовлення селективного шару із наночастинок $TiO_2$ для покращення очисних властивостей керамічних мембран.

Метою даного стартапу являється задоволення потреби споживача та виробника, а саме шляхом зменшення собівартості продукції без втрат якості, що запезпечить виробнику довше утримувати високу позицію на ринку.

У моделі ділової досконалості підприємства стартап спрямовий на покращення виробничих процесів та задоволення споживачів.

О`єктом стартапу є селективний шар на основі титан (IV) оксиду для керамічних мембран..

Суб`єктом стартапу є автор стартап-ідеї, а також інвестори.

Місце розробки у інноваційному ланцюжку цінності – від ідеї до виробництва.

Основні ціннісні пропозиції за напрямом стартап-ідеї наведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 − Ціннісні пропозиції стартап-проєкту

| Варіант | Стислий опис ідеї |
|---|---|
| 1. Продаж, покриття, що створює селективний шар | Дане потриття можна інтегрувати у виробництво анологів даної керамічної мембрани. Це покриття буде покращувати характеритики мембран. |
| 2. Продаж антибактеріальний мембран | Не дивлячись на дешевизну мембрани, вон ає довготривалішою за аналоги, та є кращою в багатьох характеристиках. Використання даних мембран забезпечить високу ступінь очищення води, знезараження води, що в свою чергу підвищить попит споживачів на воду очищену таким чином. |
| 3. Продаж розробленої методики нанесення | Для нанесення та просочування модулів мембрани активнимим наночастинками буде розроблений спіцілізований апарат, що зробить процес нанесення швидким, якісним та надіним. |

У таблиці 4.2 наведено ціннісну пропозицію за стартап-ідеєю.

Таблиця 4.2 − Ціннісна пропозиція за стартап-ідеї

| Питання | Цінність |
|---|---|
| Авторська сутність ідеї | Антибактеріальні керамічні мембрани з додатковим покриттям для очищення води |
| Наявність аналогів або прототипів ідеї | Аналогів керамчних мембран є, однак сировина у рази дорожча. Наприклад, CRM3019-500 |
| Ціна аналогів і прототипів, грн/од. | 8 600 |
| Ступінь розробленості технології реалізації | Проводяться дослідження |
| Наявність готового технологічного обладнання | У наявності |
| Перелік потенційних постачальників для реалізації замовлень стартапу | Аквабум (м. Дніпро) Компания «Химснабжение» |
| КВЕД, до якого може належити дане виробництво | Е36.0 Забір, очищення та постачання води |
| Очікувана потужність стартапу (одиниць, одиниць/споживача) | 10 одиниць / споживача (споживач – водоочисна станція) |
| За наявностю підготовленого персоналу | На даній стадії розробки підготовлений персонал в наявності. |
| Бажана сфера пошуку капіталу і контролю для реалізації стартапу (національний, іноземний, спільний багатонаціональний тощо) | Національні та іноземні інвестори |
| Бажане географічне розташування потужностей стартапу, | Київська область;<br>Київ; Європа. |

Продовження таблиці 4.2

| | |
|---|---|
| Який режим роботи підприємства з виробництва об'єкту стартапу протягом року (сезонне, позасезонне) | Позасезонне |
| Яке географічне розташування на території України? | Київська обл., Закарпатська обл. |
| За плановим терміном реалізації проекту | Самостійна робота з подальшим удосконаленням ідеї |

Таблиця 4.3 – Оборотні фонди

| Прогнозовий елемент витрат | Прогнозна кількість, од. | Прогнозна вартість, грн |
|---|---|---|
| Керамічна глина | 2 кг/од | 150 грн/1кг = 45 000 грн/150 од |
| Вода | 20 $м^3$ | 2000 грн/150од. |
| Сировина для отримання нанокомпозиту<br>$TiO_2$<br>$C_3H_8O$<br>$Zn(NO_3)_2$ ) | 200 г/од<br>500 мл/од<br>20 г/од | 30 000 гр/150од |
| Електроенергія, паливо | 2 грн/(кВт·год) у денний період | 3000 грн/місяць |
| Матеріали | Пакувальна бумага | 2500 грн |
| Всього | | 82 250 грн/150од |

Орієнтовний випуск становить приблизно 150 одиниць в місяць, тоді витрати на оборотні фонди за рік:

ОбФ = 82 250 · 12 = 987 000 грн./рік.

Кількість персоналу – 2 особи, із заробітньою платою 10 000 грн/рік

ФОП = 10 000 · 12 · 2 · 1,22 = 292 800 грн./рік

Обладнання, що потребуються для виконання досліду:

- апарат для нанесення шару 50 000 грн;
- реактор з мішалкою 40 000 грн;
- піч 10 000 грн;
- дробарка 6 000 грн.

Період експлуатації 5 років обладнання, тоді амортизація:

$А_{обладнання}$ = (50 000 + 40 000 + 10 000 + 6 000)/5 = 21 200 грн./рік.

Для закупівлі інвентарю (колби, піпетки і т.д.) виділяється 30 000 грн. Період експлуатації 4 роки, тоді амортизація становить:

$А_{інвентар}$ = 30 000/4 = 7 500 грн./рік

На нематеріальні активи виділяється 50 000 грн. Період експулатації 12 років, таким чином амортизація становить:

$А_{нем. активи}$ = 50 000/12 = 4 166 грн./рік.

Тоді загальна сума амортизації становитиме:

А = 21 200 + 7 500 + 4 166 = 32 866 грн/рік.

Таким чином собівартість становить:

С = А + ОбФ + ФОП = 32 866 + 987 000 + 292 800 = 1 312 666 грн/рік

Тепер розрахуємо собівартість 1 мембрани:

С = 1 312 666 /(12 · 150) = 729,25 грн/од

### 4.1 Техніко-економічні показники

Випуск становитиме:

В = 1 500 од.

ОбФ = 987 000 грн./рік

ФОП = 292 800 грн/рік

А = 32 866 грн/рік.

Основні фонди:

ОФ = 50 000 + 40 000 + 10 000 + 6 000 + 50 000= 156 000 грн

Оборотні засоби:

ОбЗ = ОбФ + ФОП = 987 000 + 292 800 = 1 279 800 грн/рік.

Сума капіталовкладень дорівнює:

К = ОФ + ОбЗ = 156 000 + 1 279 800 = 1 435 800 грн/рік.

Запланована ціна за одиницю продукції становить 2500 грн. Тоді ціна за рік на продукцію складає:

Ц = 2500 · 1500 = 3 750 000 грн/рік.

Прибуток дорівнює:

П = Ц – С = 3 750 000 – 1 312 666 = 2 437 334 грн/рік.

Період повернення капіталовкладень:

$$Т_{пов} = \frac{К}{П} = \frac{1\,435\,800}{2\,437\,334} = 0{,}6 \text{ року}$$

Ефективність підприємства:

$$Е = \frac{1}{Т_{пов}} = \frac{1}{0{,}6} = 1{,}66$$

Рентабельність:

$$Р = \left(\frac{П}{С}\right) \cdot 100\% = \left(\frac{2\,437\,334}{1\,312\,666}\right) \cdot 100\% = 185{,}67\ \%.$$

Фондовіддача:

$$ФВ = \frac{П}{ОФ} = \frac{2\,437\,334}{156\,000} = 15{,}6 \text{ грн./грн.}$$

Фондоємність:

$$ФЄ = \frac{1}{ФВ} = \frac{1}{15{,}6} = 0{,}064 \text{ грн/грн.}$$

Таким чином були розраховані техніко-економічні показники, з яких можна зробити висновок, що при випуску 1500 одиниць за рік, собівартість

одиниці продукції становить 729,25 грн/од, а рентабільність становить 185,67 %, отже, за розрахунками даний стартап є рентабельним.

### 4.2 Аналіз прогнозних ринкових позицій стартап-проєкту

Були проаналізовані деякі фактори зовнішньо-оперативного середовища для реалізації стартап проекту, а саме «Постачальник», «Посередник», «Конкуренти», «Споживачі». Також визначені переваги і недоліки кожного з них, які були оцінені за наступними критеріями: коефіцієнт ймовірності настання, ступінь очікуваного впливу на стартап. Для зручноності результати представлені в таблиці.

Таблиця 4.4 – Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

| Фактор | Переваги | | | Недоліки | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Сутність | Ймовірність настання | Вплив на цінність | Сутність | Ймовірність настання | Вплив на цінність |
| Постачальники | Затримання доставки сировини | 60 % | 20 % (Час затримки можна потратити на некапіт. ремонтні роботи) | Затримання доставки сировини | 60 % | 70 % (затримка виготовлення продукції) |
| | Підприємство постачальника закрили на карантин | 40 % | 80 % (Пошук нових, можливо вигідніших постачальн.) | Підприємство постачальника закрили на карантин | 60 % | 70 % (затримка виготовлення продукції) |

Продовження таблиці 4.4

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Продукція постачальника не пройшла контроль якості | 10 % | 50 % Можливіть знаходження постачальники на вигідніших умовах | Продукція постачальника не пройла контроль якості | 15 % | 40 % Додаткові затрати часу на пошук нового постачальника |
| Посередники | Затримання доставки сировини | 60 % | 20 % (Час затримки можна потратити на некапіт. ремонтні роботи) | Затримання доставки сировини | 60 % | 70 % (затримка виготовлення продукції) |
| | Нарахування значно більшого відсотка від перевезення | 5 % | 10 % (Вчасно помічений перерахунок, дасть змогу компенсувати грн, добитись нижчої вартості сировини) | Нарахування значно більшого відсотка від перевезення | 5% | 15 % (більші затрати) |
| | Впровадження роботів для складування товару | 10 % | 50 % Збільшення ефективності роботи підприємства | Впровадження роботів для складування товару | 10 % | 50 % (збільшення затрат на контроль та ремонт апаратури) |
| Конкуренти | Збільшення ціни товару на ринку | 25 % | 70 % | Збільшення ціни товару на ринку | 30 % | 60 % |

Продовження таблиці 4.4

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Наявність контуренції на ринку | 80 % | 90 % Дають поштовх до удосконалення технології | Наявність контуренції на ринку | 50 % | 40 % Виникає бородьба за унікальність продукту |
| | Удосконалення продукції | 40 % | 60 % | Удосконалення продукції | 40 % | 80 % |
| Споживачі | Продажі товару знизились | 10 % | 50 % (Пошук нових товарів) | Продажі компанії знизились | 25 % | 50 % (Прибуток знизився) |
| | Дефіцит товару | 10 % | 85 % (можливість збільшення вартості продукту) | Дефіцит товару | 5 % | 45 % |
| | Наявність закордонних аналогів | 80 % | 80 % (за рахунок нижчої вартості наш товар буде привабливішим) | Наявність закордонних аналогів | 85 % | 90 % (Враховуючи менталітет населення, закорданне - означає краще, продажі можуть знизитись) |

Для того аби зробити висновок про фактор, що найбільш позитивно та найбільш негативно впливає на стратпа-проєкт, були проведені наступні розрахунки:

Наприклад, розраховуємо для фактору – Постачальники «Затримання доставки сировини» перевага 0,6 ⋅ 0,2 = 0,12; недоліки 0,6 ⋅ 0,7 = 0,42.

Таким чином: постачальники – перевага 0,45, недоліки 0,9.

Посередники – перевага 0,175, недоліки 0,4745.

Конкуренти – перевага 1,135, недоліки – 0,7.

Споживачі – переваги 0,775, недоліки 0,9125.

Отже, можна зробити висновок, що для зовнішнього оперативного середовища найбільші можливості приносять конкуренти, по-перше вони формують ринок, на який заходимо ми зі своїм стартап-проєктом, по-друге на базі аналізу дій конкурентів ми може сформувати власну успішнішу стратегію розвитку. А загрози несуть споживачі, адже через новизну продукту, у споживача ще не сформувалось довірливе відношення до нового продукту.

У таблиці 4.6 представлений аналіз зовнішнього середовища стартап-проекту, його загрози та можливості.

Для виявлення факторів, що несуть найбільші загрози та можливості проводимо аналогічні розрахунки, що були наведені вище.

Політика – загрози 1,605, можливості – 1,62.

Економіка – загрози 1,35, можливості 0,73.

Географія – загрози 0,3425, можливості 1,0125.

Демографія – загрози 1,195, можливості 0,9075.

НТП – загрози 1,0225, можливості 0,99.

Культура – загрози 0,375, можливості 0,4075.

Таким чином, фактор Політика несе одночасно і найбільшу загрозу і найбільшу можливість для нашого стартап-проєкту.

Таблиця 4.5 – Аналіз факторів зовнішнього середовища

| Фактор | Переваги | | | Недоліки | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Сутність | Ймовірність настання | Вплив на цінність | Сутність | Ймовірність настання | Вплив на цінність |
| Постачальники | Затримання доставки сировини | 60 % | 20 % (Час затримки можна потратити на некапіт. ремонтні роботи) | Затримання доставки сировини | 60 % | 70 % (затримка виготовлення продукції) |
| | Підприємство постачальника закрили на карантин | 40 % | 80 % (Пошук нових, можливо вигідніших постачальн.) | Підприємство постачальника закрили на карантин | 60 | 70 % (затримка виготовлення продукції) |
| | Продукція постачальника не пройшла контроль якості | 10 % | 50 % Можливіть знаходження постачальники на вигідніших умовах | Продукція постачальника не пройла контроль якості | 15 % | 40 % Додаткові затрати часу на пошук нового постачальника |
| Посередники | Затримання доставки сировини | 60 % | 20 % (Час затримки можна потрат. на некапіт. ремонтні роботи) | Затримання доставки сировини | 60 % | 70 % (затримка виготовлення продукції) |

Продовження таблиці 4.5

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Нарахування значно більшого відсотка від перевезення | 5 % | 10 % (Вчасно помічений перерахунок, дасть змогу компенсувати грн, добитись нижчої вартості сировини) | Нарахування значно більшого відсотка від перевезення | 5 % | 15 % (більші затрати) |
| | Впровадження роботів для складування товару | 10 % | 50 % (Збільшення ефективності роботи підприємства) | Впровадження роботів для складування товару | 10 % | 50 % (Збільшення затрат на контроль та ремонт апаратури) |
| Конкуренти | Збільшення ціни товару на ринку | 25 % | 70 % | Збільшення ціни товару на ринку | 30 % | 60 % |
| | Наявність контуренції на ринку | 80 % | 90 % Дають поштовх до удосконалення технології | Наявність контуренції на ринку | 50 % | 40 % Виникає бородьба за унікальність продукту |
| | Удосконалення продукції | 40 % | 60 % | Удосконалення продукц. | 40 % | 80 % |
| Споживачі | Продажі товару знизились | 10 % | 50 % (Пошук нових товарів) | Продажі компанії знизились | 25 % | 50 % (Прибуток знизився) |

Продовження таблиці 4.5

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Дефіцит товару | 10 % | 85 % (можливість збільшення вартості продукту) | Дефіцит товару | 5% | 45 % |
| | Наявність закордонних аналогів | 80 % | 80 % (за рахунок нижчої вартості наш товар буде привабливішим) | Наявність закордонних аналогів | 85 % | 90 % (Врахову ючи менталітет населення, закорданне - означає краще, продажі можуть знизитись) |

Провівши пошук споживачів переважно за допомогою інтернет ресурсів, була сформована таблиця з переліком споживачів, яких міг би зацікавити стартап-проект, надана контактна інформація підприємст-споживачів, а також наведені цінності, які ми можемо запропонувати конкретному споживачу.

Таблиця 4.6 – Перелік споживачів продукту стартап-проєкту.

| Знайдена інформація | Конакти | Особливості |
|---|---|---|
| Dow Chemical | Тел./факс: тел. (044) 490-69-26 Адреса: 01004, м. Київ, вул. В. Васильківська 9/2, оф. 47, Сайт: https://ua.dow.com/uk- | Реалізація продукції, реалізація або продаж стартапу. |

Продовження таблиці 4.6

| | | |
|---|---|---|
| ТВ НПО «ЕКОСОФТ» | Тел./факс: (044) 490-34-54, (044) 390-19-42<br>Адреса: Україна, 02600, м. Ірпінь, вул. Покровська 1-ї<br>Сайт: https://ua.ecosoft.com/ | Може запропонувати купівлю нашої розробки для впровадження її у виробництво даної компанії. Також можливо запроопонувати співпрацю з даною фірмою для проведення досліджень на початквій стадії стартапу. |
| Компанія ТОВ «АНТРІС | Тел./факс: тел./факс (044) 548-44-04<br>Адреса: Україна, 02222, м. Київ, вул. Миколи Лаврухіна, 9<br>Сайт: http://www.antris.com.ua | Можемо заключити договір про продажу наших мембран фірмі для їх подальшого впровадження в високотехнологічнв схеми будь-якої складності з очищення води до постачання. |
| ТОВ ВКФ «Екотех» | Тел./факс: (048) 777-7-987, 711-7-745<br>Адреса: Україна, 65125. Одеса, вул. Базарна, 24<br>Сайт: http://eco-tech.od.ua/ | Продаж продукції цій компанії. |
| ТОВ "Студія води Тритон" | Тел./факс: 056 744-7089<br>Адреса: м. Дніпропетровськ, вул. Комсомольська, 14<br>Сайт: http://triton.dp.ua | Продаж стартапу на початковій стадії так як компанія займається питаннями розробки технологічних схем водопостачання. А також можливий бнзпосередній продаж продукції цій компанії. |
| ПП «Мембранні технології» | Тел.: +38 (0512) 580049<br>Адреса: 54001, м. Миколаїв, вул. Адмірала Макарова. | Продаж стартапу, досладжень, або самої готової продукції. |

Продовження таблиці 4.6

| | | |
|---|---|---|
| ПП «Мембранні технології» | Тел./факс: +38 (0512) 580049<br>Адреса: 54001, м. Миколаїв, вул. Адмірала Макарова, 44/2 | Продаж стартапу, досладжень, або самої готової продукції. |
| «Filter Water» ФОП Кравчук О.Я. | Тел./факс: 380 50 378 42 54<br>Адреса: Україна, Волинська обл., м. Луцьк, вул. К. Савури 21а<br>Сайт: http://filterwater.com.ua/ | Продаж готової продукції. |
| Компанія «WaterHome» | Тел./факс: 380 44-467-59-62, 380 67-167-99-06<br>Адреса: Україна, 04074, Київ, вул. Резервна, 8<br>Сайт: http://waterhome.com.ua/ | Реалізація готової продукції |
| АКВАЛІДЕР | Адреса: 79020, м. Львів, просп. Чорновола, 63а, оф.<br>https://aqualeader.com | Реалізація продокції через компанії. |

Продовження таблиці 4.6

| | | |
|---|---|---|
| НАЦІОНАЛЬНІ ВОДНІ РЕСУРСИ, ПРАТ НАЦІОНАЛЬНІ ВОДНІ РЕСУРСИ, ЗАТ | Адреса: 03148, м.Київ, вул. Пшенична, 8<br>Поштова адреса: 03039, м. Київ, просп. Червонозоряний, 119, оф. 307<br>Телефон основний: (044) 5252033<br>Телефони контактні: (097) 5054001<br>Факс: (044) 5252033<br>Електронна пошта: nwr@i.kiev.ua<br>Сайт: http://www.nwr.com.ua/ | Можливий продаж продукції в тому числі за кордон. Можливий продаж ідеї стартапу, так як компанія самостійно також здійснює розробку технологій. Також запропонувати співпрацю на етапі досладження. |
| Мережа гіпермакетів «ЕПІЦЕНТР» | Телефони: 0800202727<br>0931704727<br>info@on.epicentrk.ua<br>Електронна пошта: beznal@on.epicentrk.ua.<br>https://epicentrk.ua | Оптовий продіж продукції, аким чином просування через мережу готової продукції стартап-проєкту. |

Як видно з таблиці споживачами нашого стартап-поекту можуть бути як і станції водоочистки, так і підприємства водопідготовки, що базуються на

виготовленні різного виду обладнання, а також гіпермаркет будівельних матеріалів.

У якості можливих постачальників сировини, матеріалів та обладнання були обрані компанії, що представлені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Постачальники

| Предмет постачання | Знайдена інформація | Контактна інформація |
|---|---|---|
| Глина | ООО «ТПП «БОНУСТРЕЙД | Юридична адреса: Україна Запорізька область Запорожьешоссе Північне, 12А Детальніше: https://bonustrade.com.ua/ Телефони: +380504540532 +380681761662 Електронна пошта: 80504540532@ukr.net |
| | ЗАТИСЯНСЬКИЙ ХІМІЧНИЙ ЗАВОД, ПАТ | Фактична адреса: 90332, Закарпатська обл., Виноградівський р-н, смт. Королево, вул. Заводська, 1 Телефони: (03143) 21007, (03143) 22132 Факс: (03143) 22132 |
| Хімічні реактиви та матеріали | ХимИнтер | Фактияна адреса: 03151, м. Київ, вул. Волинська, 57, оф. 13 Телефони: +38 094 823-17-77 +38 044 249-02-35 himinter@ukr.net |

Продовження таблиці 4.7

| | | |
|---|---|---|
| | ЕКОЛАБ, ТОВ | Фактична адреса: 03067, м. Київ, вул. Машинобудівна, 42<br>Телефони: (044) 4961946, (044) 4961943, (044) 4961967<br>Факс: (044) 4961947 |
| Обладнання | ІРЕН, ФІРМА, ПП | Фактична адреса: 40024, м. Суми, вул. СКД, 42, оф. 11<br>Телефони: (0542) 656868, (067) 5404645, (050) 4007313, (067) 5404645<br>Факс: (095) 8281181<br>Електронна пошта: lvi58@list.ru<br>Сайт: http://iren.sumy.ua/ |
| | СЄВЄРОДОНЕЦЬКИЙ ЗАВОД ХІМІЧНОГО НЕСТАНДАРТИЗОВАНОГО ОБЛАДНАННЯ, ТОВ | Фактична адреса: 93403, Луганська обл., м. Сєвєродонецьк, вул. Півоварова 5-Д6/1<br>Телефони: (0645) 714258, (0645) 712591, (0645) 713969 |

Одним із критерієм успіху стартап-проекту є хороша обізнаність на конкурентному ринку, саме тому був сформуваний перелік основних потенційних конкурентів стартап-проєкту на ринку, а також визначено конкурентів за технологією виробництва, за географічною територією виробництва і збуту, за ціною, за властивостями продукту. Результати представлені в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Перелік конкурентів

| Напрям конкуренції | Назва конкурента | Контакти конкурента |
|---|---|---|
| За географічним розташуванням виробництва | ЕКОСОФТ | 08200, Київська область,<br>М. Ірпінь, вул. Покровска, 1-ї<br>+38 (044) 390-82-53<br>voda@ecosoft.com<br>+38 (044) 490 34 54<br>company@ecosoft.com<br>+38 (044) 390-82-53<br>+38 (067) 130-29-0<br>https://ecosoft.ua |
| | ТОВ «АНТРІС» | Тел./факс: тел./факс<br>(044) 548-44-04<br>Адреса: Україна, 02222, м. Київ, вул. Миколи Лаврухіна, 9<br>Сайт: http://www.antris.com.ua |
| | Аква експерт | (044) 331-11-16<br>(066) 341-11-16<br>(096) 341-11-16<br>(063) 341-11-16<br>info@aqua-life.ua<br>м. Київ, бульвар Академіка Вернадського, 26 |
| | Filter.ua | 04050, Украина, Киев,<br>Николая Пимоненко 13К,<br>067 647 19 72 |

Продовження таблиці 4.8

| | | |
|---|---|---|
| За географією ринку збуту | ItN Nanovation AG (Німеччина) (конкуренція на Європейському ринку) | Peter-Zimmer-Straße 9 66123 Saarbrücken Germany Phone: +49(0)681/96 59 52-0 Fax: +49 (0) 681/96 59 52-99 E-Mail: info@itn-nanovation.com http://www.itn-nanovation.com |
| | LiqTech (Данія) (конкуренція на Європейському ринку) | liqtech.dk |
| | TAMI (Франція) (конкуренція на Європейському ринку) | Head office & Factory: Z.A. Les Laurons CS 65<br>26111 NYONS CEDEX - France<br>Tel : +33 (0) 475 264 769 - Fax : +33 (0) 475 264 787<br>tami-info@tami-industries.co<br>http://www.tami-industries.com/enadvanced-ceramic-filtration/ |
| | Nanostone Water (США) (конкуренція на Американському ринку, а в майбутньому наш продукт буде і на цьому ринку) | +1 (781) 209-6900<br>info@nanostone.com<br>https://www.nanostone.com |
| | ЕКОСОФТ | 08200, Київська область,<br>М. Ірпінь, вул. Покровска, 1-ї<br>+38 (044) 390-82-53<br>voda@ecosoft.com<br>+38 (044) 490 34 54<br>company@ecosoft.com<br>+38 (067) 130-29-0<br>https://ecosoft.ua |

Продовження таблиці 4.8

| | | |
|---|---|---|
| | Aquafilter | Sw. Teresy 101<br>91-222 Lodz, Poland<br>sales@aquafilter.com |
| За категоріями споживачів | ЕКОСОФТ | 08200, Київська область,<br>М. Ірпінь, вул. Покровска, 1-ї<br>+38 (044) 390-82-53<br>voda@ecosoft.com<br>+38 (044) 490 34 54<br>company@ecosoft.com<br>+38 (044) 390-82-53<br>+38 (067) 130-29-0<br>https://ecosoft.ua |
| За продуктом | ItN Nanovation AG (Німеччина) (керамічні мембрани) | Peter-Zimmer-Straße 9 66123 Saarbrücken Germany<br>Phone: +49 (0) 681/96 59 52-0Fax: +49 (0) 681/96 59 52-99E-Mail: info@itn-nanovation.com http://www.itn-nanovation.com |
| | LiqTech (Данія) (керамічні мембрани) | liqtech.dk |
| | TAMI (Франція) (керамічні мембрани) | Head office & Factory: Z.A. Les Laurons CS 65<br>26111 NYONS CEDEX - France<br>Tel: +33 (0) 475 264 769 - Fax : +33 (0) 475 264 787<br>tami-info@tami-industries.co<br>http://www.tami-industries.com/enadvanced-ceramic-filtration/ |
| | Nanostone Water (США) (керамічні мембрани)) | +1 (781) 209-6900<br>info@nanostone.com<br>https://www.nanostone.com |

Продовження таблиці 4.8

| | | |
|---|---|---|
| За властивостями продукту | ЕКОСОФТ (наявні аналоги, наприклад, полімерні мембрани) | 08200, Київська область, М. Ірпінь, вул. Покровска, 1-ї +38 (044) 390-82-53 voda@ecosoft.com +38 (044) 490 34 54 company@ecosoft.com +38 (044) 390-82-53 +38 (067) 130-29-01 |
| | ItN Nanovation AG (Німеччина) (керамічні мембрани) | Peter-Zimmer-Straße 9 66123 Saarbrücken Germany Phone: +49 (0) 681/96 59 52-0Fax: +49 (0) 681/96 59 52-99E-Mail: info@itn-nanovation.com http://www.itn-nanovation.com |
| | LiqTech (Данія) (керамічні мембрани) | liqtech.dk |
| | TAMI (Франція) (керамічні мембрани) | Head office & Factory: Z.A. Les Laurons CS 65 26111 NYONS CEDEX - France Tel: +33 (0) 475 264 769 - Fax: +33 (0) 475 264 787 tami-info@tami-industries.co http://www.tami-industries.com/enadvanced-ceramic-filtration/ |

Продовження таблиці 4.8

| | | |
|---|---|---|
| | Nanostone Water (США) (конкуренція на Американському ринку, а в майбутньому наш продук буде і на цьому ринку) | +1 (781) 209-6900<br>info@nanostone.com<br>https://www.nanostone.com |

Виконавши аналіз потенційного ринку збуту і конкурентного середовища на ньому, зроблено висновок, що тільки 3 потенційні конкуренти готові до атаки, 4 – діють на флангах, 1 – тримає оботону та 2 конкурента приймають позицію партизанів.

Таблиця 4.9 – квадрат Бове

| Конкурент | Квадрат Бове |
|---|---|
| ЕКОСОФТ | Готові до атаки |
| ItN Nanovation AG (Німеччина) | |
| TAMI (Франція)<br>(керамічні мембрани) | |
| ТОВ «АНТРІС» | Діють на флангах |
| LiqTech (Данія)<br>(керамічні мембрани) | |

Продовження таблиці 4.9

| | |
|---|---|
| Nanostone Water (США) | Діють на флангах |
| Аква експерт | |
| Aquafilter | Тримає оборону |
| Filter.ua | Партизан |
| Аква експерт | |

Проаналізувавши конкурентний ринок, можна зазначити яку позицію готове зайняти виробництво мого стартап-проєкту.

Враховуючи те, що на ринку присутні тільки аналоги, та виготовлений мною продук являється «новинкою». Наше потенційне виробництво займає позицію готові до атаки, так як найближчі аналоги випускаються виробництвами, що займають таку саму позицію. Вважаю, що за рахунок нижчої собвартості мого продукту, позиція «Готові до атаки» сміло підходить нашому стартап-проекту.

Визначивши позицію на потенційному ринку збуту, виявлені основні конкуренти нашого стартап-проєкту, це – ЕКОСОФТ, ItN Nanovation AG (Німеччина), TAMI (Франція). Методом Шонфільда було визначено ключові фактори успіху реалізації ціннісних пропозицій за напрямом стартап-ідеї, які матимуть перевагу над уже існуючими.

Таблиця 4.10 – Фактори успіху проєктів на ринку

| Характеристика | | Вагомість характеристики для споживача | Оцінка характеристики товару для компаній-конкурентів | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Мембрана нашого Стартап-проєкту | XLE-440 компанії ЕКОСОФТ | CRM3019-500 Компанії ItN Nanovation |
| 1 | Термостійкість, ◦C | 0,23 | 4,5 | 3 | 4,5 |
| 2 | Довговічність, рік | 0,22 | 4 | 2,5 | 3 |
| 3 | Селективність, % | 0,43 | 4,7 | 3 | 3 |
| 4 | Ціна, грн | 0,12 | 5 | 3 | 2 |
| ∑ | | 1 | | | |

Після чого розрахуємо бальні оцінки кожної характеристики для нашої продукції і для конкурентів з урахуванням коефіцієнту вагомості:

Для нашого стартап-проєкту:

Термостійкість = 4,5 ⋅ 0,25 = 1,125.

Довговічність = 0,22 ⋅ 3,3 = 0,726.

Селективність = 0,53 ⋅ 4,7 = 2,491.

Для XLE-440:

Термостійкість = 3 ⋅ 0,25=0,75.

Довговічність = 0,22 ⋅ 2,5 = 0,55.

Селективність = 0,53 ⋅ 3 = 1,59.

Для CRM3019-500:

Термостійкість = 5 ⋅ 0,25 = 1,25.

Довговічність = 0,22 ⋅ 3 = 0,66.

Селективність = 0,53 ⋅ 3 = 1,59.

Таким чином, за отриманими даними будуємо графік для визначення тих факторів, що будуть ключовими факторами успіху нашого стартап-проєкту.

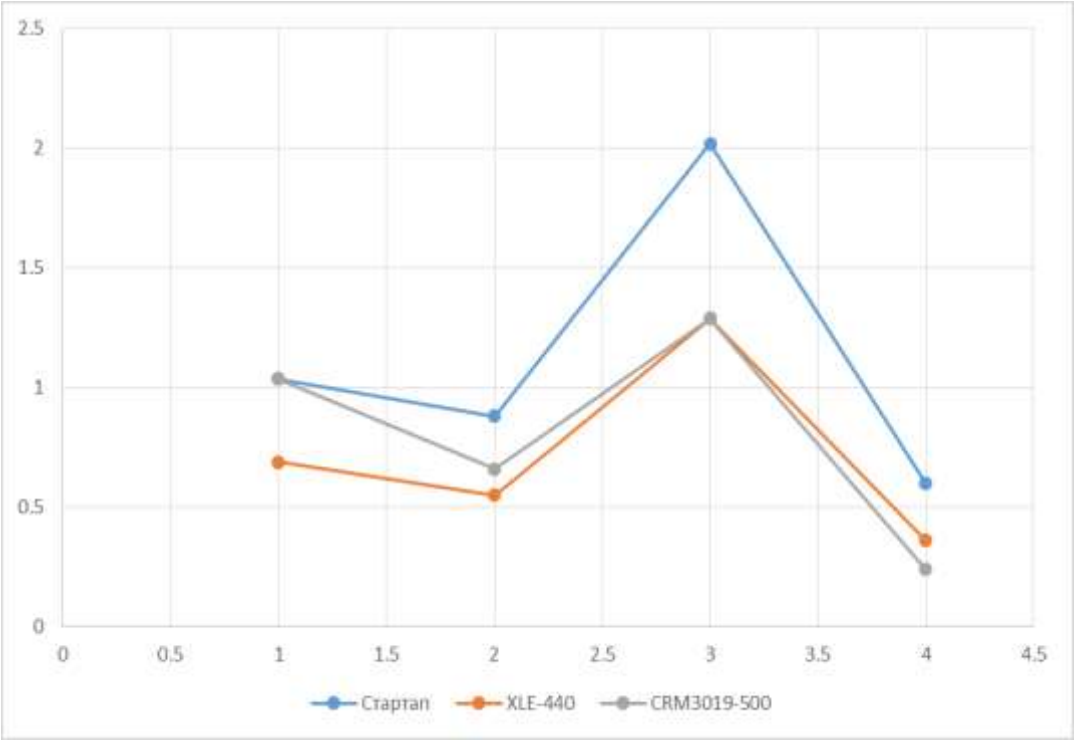



Рисунок 4.1 – Візуалізація методу Шонцфільда

Проаналізувавши графік візуалізації методу Шонцфільда можна зробити висновок, що ключовими факторами успіху мого стартап проекту є характеристики 2 ( «Довговічність»), 3 («Селективність») та 4 («Ціна» ), адже як видно з графіку, саме за цими характеристиками, з наведених, мембрана мого стартапу не поступається наявним аналогам, навідмінно від характеристики 1 («Термостійкість»).

Характеристика 1 ( «Термостійкість») не є ключовим фактором успіху мого стартапу, так як показник термостійкості мембрани CRM3019-500 компанії ItN Nanovation є таким самим як і у нашої мембрани. Що підтверждує отримані вище висновки (щодо факторів зовнішнього оперативного середовища), адже саме через високі характеритиски мого продукту, фактор «Контуренти» є можливістю для стартап-проєкту.

### 4.3 Шляхи монетизації проєкту

Провівши попередній аналіз методів просування мого стартап-проєкту, я дійшла до висновку, що доцільніше буде притримуватись методу Стимулювання збуту товару. А саме шляхом продажу через роздрібні мережеві магазини розробленого мною продукта. Наприклад через такий гіпермаркет як «Епіцентр», тобто налагодити оптові продіжі самим гіпермаркетам. Таким чином, це дасть нам можливість через мережеві магазини перехопити потенційних споживаців та налагодити впізнаваність нашого бренду. Також шляхом налагоджування продажу фірмам, що займаються водопідготовкою, такі як «WaterHome», АКВАЛІДЕР.

Так як основну загрозу для стартапу несе споживач, для того аби завоювати довіру, було прийнято рішення інтегрувати наші мембрани в апарати по водоочищеню популярних фірм, до яих у споживача уже є довірливе ставлення (наприклад фірмі «Filter Water» і тд.). Для заохочення віддіти перевагу саме нашому продукту пропонується акційна знижка −10 % на перше придбання, а також 20 % при оптовій закупівлі.

Якщо ж мова іде про просування стартап-ідеї, то доцільнишим буде обрати метод «Особистого продажу», що дасть змогу залучити інвесторів для подальшого просування проєкту та створення інвест фонду.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Після виконання аналізу ефективності застосування усіх методі впросування цінності мого стартап-проєкту на цільовийринок (таблиця 4.12). Було обрано найбільш підходящі методи просування мого стартап- проєкту.

Таблиця 4.12 Аналіз методів просування

| Метод просування | Об`єкт просування | Мета просування | Засіб просування | Переваги | Недоліки |
|---|---|---|---|---|---|
| Пропаганда | Ідея створення дешевих атибактеріальних мембран | Покращення позитивного відношення до ідеї стартапу | Медіа (широке охоплення аудиторії) | Стумюлювання людей до пошуку інформації (більша кількість людей дізнається про нашу ідею) | Не можливо відслідкувати результативність пропаганди |
| | Матеріал стартапу (вітчизняні глини) | Підтримка відчизняного продукту | | Стимулювання людей віддавати перевагу відчизняним виробникам | |

Продовження таблиці 4.12

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Реклама | Ідея створення дешевих атибактеріальних мембран | Залучення інвесторів | Інтернет ресурси точкова дія на потенційного споживач | Дія спрямована на необхідну цільову аудиторію | Затратний метод (вимагає вкладень) |
| | Покриття, що створює селективний шар | Продаж | - Вулична реклама (бігборди) Банери, що виставляються на різних конференціях і заходах. | | |
| | Готові антибактеріальні мембрани | | | | |
| Стимулювання збуту | Готові антибактеріальні мембрани | Завоювання ринку | Інтеграція з партнерами паралельного ринку) - Знижки | Швидкий вихід на ринок | Знецінення бренду компанії |

Продовження таблиці 4.12

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Особистий продаж | Готові антибактеріальні мембрани | Отримання прибутку | Зутріч з представниками компанії-споживачів | Можливість оптової продажі більший прибуток | Затратність у часі |
| | Результати проведених досліджень | | | Отримання прибутку на початкових стадіях Можливість створення взяємовигідних умов для співпраці | |
| | Покриття, що створює селективний шар | | | Можливість оптової продажі = більший прибуток | |

Продовження таблиці 4.12

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Інтернет-маркетинг | Готові антибактеріальні мембрани | Залучення інвесторів Отримання прибутку | Соціальні мережі | Точкова дія на споживача. Забезпечення впізнаваємості бренду. | Набридливість, яка може стати причиною недовготривалого утримування уваги до продукту |
| | Покриття, що створює селективний шар | | | | |

Отже, проаналізувавши наведу вище інформацію, можна зробити висновок, що антибактеріальна керамічна мембрана, що є продуктом мого стартап-проєкту є новим продуктом, що виходить на старий ринок, саме тому ми займаємо позицію «готові до атаки». А також зважаюи на це, вважаю, що шлях монетизації мого проекту обрано успішно, адже головним завданням нового продукту, що виходить на старому ринку – це перехопити якомога більше клаєнтів, що з обраною старатегією мені вдасться зробити. А також завдяки інтеграції мого продукту у відомі фірми мені вдасться завоювати довіру споживачів.

Так як було виявлено, що ключовими факторами успіху є такі характеристи як «Довговічність», «Селективність» та «Ціна», то при просуванні продукту варто приділити цьому особливу увагу.

# ВИСНОВКИ

Було синтезовано низькотемпературним гідротермальним методом титан (IV) оксид та досліджено його фотокаталітичні властивості, хімічний склад та його фазовий склад. За отриманими результатами досліджень (фотокаталіз, ІЧ спектроскопія, рентгенограма, площа поверхні) було обрано зразок 2/$TiO_2$, на основі якого було приготованого селективний шар мембрани.

Після проведення критичного аналізу літератури, було обрано 2 методи синтезу селективного шару – з використанням диспергованого полівініловаго спирту та за допомогою метода полімерних прикурсорів.

Відпрацьовано два метода нанесення синтезованих суспензій – метод занурення (dip-coating) та метод центрифугування (spin-coating). Виявлено, що метод spin-coating дозволяє отримати більш тонший шар на підкладенці. Процес дослідження відбувався за допомого метода скануючої електроної мікроскопії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Activated Carbon: the Water Treatment Workhorse. URL: https://wcponline.com/2021/06/15/activated-carbon-the-water-treatment-workhorse/ (дата звернення: 25.05.2022).

2. Potable water treatment. Electrodialysis. https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-and-technology/technology/potable-water-treatment/content-section-4.14.3 (дата звернення: 25.05.2022).

3. Trus I. M., Gomelya M. D. Desalination of mineralized waters using reagent methods. 2021. *Journal of Chemistry and Technologies*. Vol. 29 No. 3

4. Water Purification Technologies - Ion exchange. https://www.freedrinkingwater.com/water-education/quality-water-filtration-method-ion-exchange.htm (дата звернення: 25.05.2022).

5. Water Purification. https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/water-purification (дата звернення: 25.05.2022).

6. Coagulation-Flocculation. https://sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/coagulation-flocculation (дата звернення: 25.05.2022).

7. Biological Water Treatment. https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/biological-water-treatment (дата звернення: 25.05.2022).

8. Choudhury R. R., Gohil J. M., Mohanty S., Nayak, S. K. Antifouling, fouling release and antimicrobial materials for surface modification of reverse osmosis and nanofiltration membranes. *Journal Of Materials Chemistry*. 2018. No 2. P. 313–333.

9. Liu Z., Cao J., Li C.Meng H. A review on cleaning of nanofiltration and reverse osmosis membranes used for water treatment. *Desalination And Water Treatment*. 2017. Vol. 87. P. 27–67.

10. Oun A., Tahri N., Mahouche-Chergui S., Carbonnier B., Majumdar S., Sarkar S., Sahoo G.C., Ben Amar R. Tubular ultrafiltration ceramic membrane based on titania nanoparticles immobilized on macroporous clay-alumina support: elaboration, characterization and application to dye removal. *Sep. Purif. Technol*. 2017. Vol. 188. P. 126–133.

11. Li C., Sun W., Lu Z., Ao X., Li S. Ceramic nanocomposite membranes and membrane fouling: A review. *Water Research.* 2020. Vol. 175. 115674. https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115674

12. Ajenifuja E., Ajao J., Alayande S., Bakare M., Taleatu B., Ajayi E. Synthesis and Characterization of Pure and Ag-TiO2-Modified Diatomaceous Aluminosilicate Ceramic Membranes for Water Remediation. *Journal of Water Resource and Protection*. 2016. Vol. 8. P. 594–607.

13. Erdem İ. Sol-gel applications for ceramic membrane preparation. *AIP Conference Proceedings*. 2017. 1809, 020011. https://doi.org/10.1063/1.4975426

14. Erdem İ. Investigation of effects of microstructural and surface properties of ultrafiltration/nanofiltration ceramic membranes on their performance, Ph.D. thesis, Izmir Institute of Technology. 2009. https://doi.org/10.21953/lse.d9rpptnoba9r

15. Nishihora R. K., Rachadel P. L., Quadri M. G. N., Hotza, D. Manufacturing porous ceramicmaterials by tape casting. A review. *Journal of the European Ceramic Society*. 2018. Vol. 38. No 4. P. 988–1001

16. Arzania M., Mahdavia H. R., Sheikhia M., Mohammadia T., Bakhtiari O. Ceramic monolith as microfiltration membrane: Preparation, characterization and performance evaluation. *Applied Clay Science*. 2018. Vol. 161. P. 456–463.

17. Das B., Chakrabarty B., Barkakati P. Preparation and characterization of novel ceramic membranes for micro-filtrationapplications. *Ceramics Internationa*. 2016. Vol. l42. P. 14326–14333.

18. Chouguia A., Belouateka A., Rabiller-Baudryc M. Synthesis and characterization of new ultrafiltration ceramic membranes for water treatment.

*Journal of Water Process Engineering*. 2019. Vol. 30. 100620. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.04.017

19. Bockutea K., Prosyиevasb I., Lazauskasb A., Laukaitisa G. Preparation and characterization of mixed matrix $Al_2O_3$- and $TiO_2$-based ceramic membranes prepared using polymeric synthesis route. *Ceramics International*. 2015. Vol. 41. P. 8981–8987.

20. Mohamad Esham M. I., Ahmad A. L., Othman M. H. D. Fabrication, Optimization, and Performance of a $TiO_2$ Coated Bentonite Membrane for Produced Water Treatment. Effect of Grafting Time. *Membranes*. 2021. Vol. 11. No 10. 739. https://doi.org/10.3390/membranes11100739

21. Fatimah I., Sahroni I., Purnama Putra H., Nugraha M. R., Hasanah U. A. Ceramic membrane based on $TiO_2$-modified kaolinite as a low cost material for water filtration. *Applied Clay Science*. 2015. Vol. 118. P. 207–211.

22. Huh J. Y., Lee J., Bukhari S. Z. A. et al. Development of $TiO_2$-coated YSZ/silica nanofiber membranes with excellent photocatalytic degradation ability for water purification. *Sci Rep*. 2020. Vol. 10. 1781. https://doi.org/10.1038/s41598-020-74637-1

23. Hofs B., Ogier J., Vries D., Beerendonk E. F., Cornelissen E. R. Comparison of ceramic and polymeric membrane permeability and fouling using surface water, *Separation and Purification Technology*. 2011. Vol. 79. No 3. P. 365–374.

24. Kumar C. M., Roshni M., Vasanth D. Treatment of aqueous bacterial solution using ceramic membrane prepared from cheaper clays: A detailed investigation of fouling and cleaning. *Journal of Water Process Engineering*. 2019. Vol. 29. 100797. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100797

25. Mountoumnjou O., Szymczyk A., Lyonga Mbambyah E. E., Njoya D., Elimbi A. New Low-Cost Ceramic Microfiltration Membranes for Bacteria Removal. *Membranes*. 2022. Vol. 12. 490. https://doi.org/10.3390/membranes12050490

26. Ajenifuja E., Ajao J., Alayande S., Bakare M., Taleatu B., Ajayi, E. Synthesis and Characterization of Pure and Ag-$TiO_2$-Modified Diatomaceous Aluminosilicate Ceramic Membranes for Water Remediation. *Journal of Water Resource and Protection*. 2016. Vol. 8, P. 594–607.

27. Chen L., Wenjun S., Zedong L., Xiuwei A., Chao Y., Simiao L. Systematic evaluation of $TiO_2$-GO-modified ceramic membranes for water treatment: Retention properties and fouling mechanisms. *Chemical Engineering Journal*. 2019. Vol. 378. 122138. https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122138

28. Goei R., Lim T.-T. Ag-decorated $TiO_2$ photocatalytic membrane with hierarchical architecture: Photocatalytic and anti-bacterial activities. *Water Research*. 2014. Vol. 59. P. 207–218.

29. Deshmukh S. P, Mullani S. B, Koli V. B, Patil S. M, Kasabe P. J, Dandge P. B, Pawar S. A, Delekar S. D. Ag Nanoparticles Connected to the Surface of $TiO_2$ Electrostatically for Antibacterial Photoinactivation Studies. *Photochem Photobiol*. 2018. Vol. 94. No 6. P. 1249–1262.

30. Alavi M., Karimi N. Antiplanktonic, antibiofilm, antiswarming motility and antiquorum sensing activities of green synthesized Ag-$TiO_2$, $TiO_2$-Ag, Ag-Cu and Cu-Ag nanocomposites against multi-drug-resistant bacteria. *Artif Cells Nanomed Biotechnol*. 2018. Vol. 46. P. 1–15.

31. Lim T-T., Goei. R. Combined photocatalysis-separation processes for water treatment using hybrid photocatalytic membrane reactors, In book: *Photocatalysis*, Chapter 5.2016. https://doi.org/10.1039/9781782627104-00130

32. Song Z., Fathizadeh M., Huang Y., Chu K. H., Yoon Y., Wang L., Xu W. L., Yu M. $TiO_2$ nanofiltration membranes prepared by molecular layer deposition for Water Purification. *Journal of Membrane Science*. 2016. Vol. 510. P. 72–78.

33. Wu Sh., Wang Z., Xiong S., Wang Y. Tailoring $TiO_2$ membranes for nanofiltration and tight ultrafiltration by leveraging molecular layer deposition and crystallization. *Journal of Membrane Science*. 2019. Vol. 578. P. 149–155.

34. Titanium(IV) isopropoxide URL: https://www.nanoshel.com/product/titanium-IV-isopropoxide?gclid=CjwKCAjwv-GUBhAzEiwASUMm4laX-M-UFrvrYSiULwqrF6TxbHnHJ2SqLVunzC3njh4t0M73RC7jvRoCGpgQAvD_BwE (дата звернення: 01.06.2022).

35. Дистильована вода URL: http://unk.ua/uk/distillirovannaja-voda (дата звернення 01.02.2022).

36. Ізопропіловий спирт URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%86%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%96%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D0%B9_%D1%81%D0%BF%D0%B8%D1%80%D1%82 (дата звернення 01.06.2022).

37. Етиленгляколь. Застосування, властивості, її характеристика URL: https://him-element.com.ua/uk/news/52 (дата звернення 01.06.2022).

38. Titanium dioxide URL: Titanium dioxide | TiO2 - PubChem (nih.gov) ( дата звернення 01.06.2022).

39. Instrument Database: Shimadzu Europe - UV-2600 – Spectrophotometer URL: http://www.speciation.net/Database/Instruments/Shimadzu-Europe/UV2600--Spectrophotometer-;i3076 (дата звернення 01.06.2022).