

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ КОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ ТА ХІМІЇ ВОДИ
ІМ. А. В. ДУМАНСЬКОГО

ЗАТВЕРДЖЕНО

Вченою радою

Інституту колоїдної хімії та хімії води

ім. А. В. Думанського НАН України

Протокол № 10

від «23» 10 2023 р.

Директор Інституту колоїдної хімії та
хімії води ім. А. В. Думанського

НАН України,

академік НАН України



Владислав Гончарук Владислав ГОНЧАРУК

ПРОГРАМА
навчальної дисципліни

«Мембранні технології»

ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ
СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ
РІВЕНЬ ОСВІТИ
КВАЛІФІКАЦІЯ
ФОРМА НАВЧАННЯ

10 – ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
102 – ХІМІЯ
МЕМБРАННІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТРЕТІЙ (ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ)
ДОКТОР ФІЛОСОФІЇ
ДЕННА

КИЇВ – 2023

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

Д-р хім. наук, ст. наук. співр. Дульнева Тетяна Юрїївна

Програму затверджено на засіданні Вченої ради
Інституту колоїдної хімії та хімії води
ім. А. В. Думанського НАН України
протокол № 10 від «23» 10 2023 року

Вчений секретар

Людмила ЮРЛОВА

ВСТУП

Програму обов'язкової навчальної дисципліни «**Мембранні технології**» складено відповідно до освітньо- професійної програми підготовки «**доктор філософії**» в галузі природничих наук за спеціальністю **102 - «Хімія»**.

Предметом вивчення навчальної дисципліни є основні мембранні процеси розділення розчинів і сумішей; мембрани різного функціонального призначення: мікро-, ультра-, нанофільтраційні, зворотносмотичні, іонообмінні та газорозділюючі.

Навчальна дисципліна «**Мембранні технології**» згідно з навчальним планом належить до переліку обов'язкових навчальних дисциплін, яка викладається в рамках циклу професійної підготовки аспірантів зі спеціальності «**Хімія**» на третьому році навчання.

Нормативна навчальна дисципліна «**Мембранні технології**» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня «**доктор філософії**».

Матеріал курсу націлений на формування фундаментальних уявлень щодо основ мембранних технологій та слугує теоретичною основою підготовки фахівців з данної дисципліни.

1. МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1.1. Мета навчальної дисципліни:

- формування сучасного рівня знань про основні мембранні процеси та їх рушійні сили;
- вивчення будови, механізму дії та методів отримання основних типів мембран;
- уявлення щодо застосування мембран різного функціонального призначення на практиці.

1.2. Основні завдання навчальної дисципліни:

- ознайомити аспірантів з сучасним станом і перспективами застосування мембранних технологій;
- забезпечити знаннями щодо теоретичних основ мембранних процесів розділення розчинів та сумішей;
- вдосконалити знання з фізико-хімічних основ та кінетичних закономірностей мембранних процесів;
- розглянути загальні характеристики та методи отримання мембран різного функціонального призначення: мікро-, ультра-, нанофільтраційних, зворотнотічних, іонообмінних та газорозділюючих.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми аспіранти після засвоєння навчальної дисципліни повинні:

знати:

- наукові основи та основні поняття мембранних процесів розділення розчинів і сумішей;
- механізми мембранного масопереносу;
- методики розрахунку основних параметрів мембранних процесів;
- основні підходи до формування мембран різного функціонального призначення;
- мати практичні навички з мембранних процесів;

вміти:

- використовувати набуті знання для вирішенні практичних задач у галузях розділення розчинів і сумішей за допомогою мембранних процесів.

В рамках даної дисципліни поглиблюються і розвиваються такі компетенції:

❖ **Універсальні компетенції:**

здатність ставити наукові завдання і здійснювати комплексні теоретичні та експериментальні дослідження на основі цілісного системного наукового світогляду та наявних знань в області хімії;

❖ **Загальнопрофесійні компетенції:**

здатність до проведення самостійної науково-дослідної роботи в області екологічної безпеки з використанням сучасних методів дослідження та інформаційно-комунікаційних технологій.

❖ **Професійні компетенції:**

здатність планувати, технічно організувати проведення експериментальних досліджень і випробувань, обробляти, аналізувати та узагальнювати їх результати у вигляді наукових статей для провідних профільних журналів.

2. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

На вивчення навчальної дисципліни відводиться 120 годин/4 кредита ЄКТС.

Модулі дисципліни і види занять.

№	Модулі дисципліни	Кількість кредитів ЄКТС	Обсяг навчальної роботи (в годинах)						Вид підсумкового контролю
			загальний обсяг	всього аудиторних	лекції	практичні	семінари	самостійна робота	
	Мембранні технології	4	120	24	20	4	-	96	
	Разом	4	120	24	20	4	-	96	Екзамен

Навчальна дисципліна містить два кредитні модулі:

МОДУЛЬ. МЕМБРАННІ ТЕХНОЛОГІЇ.

Тема 1. Загальна характеристика мембран. Визначення та класифікація мембран. Основні типи мембран.

Природні (біологічні) і синтетичні мембрани – полімерні та неорганічні. Пористі та непористі мембрани, їх структура, транспорт і застосування. Симетричні (ізотропні) та асиметричні (анізотропні) мембрани, їх будова і характеристики. Композиційні мембрани. Розподіл мембран за механізмом їх дії.

Полімерні (органічні) мембрани, їх властивості. Матеріали для формування пористих полімерних мембран. Неорганічні мембрани, їх класифікація і характеристики. Матеріали, які використовуються для виробництва керамічних мембран. Основні види і властивості керамічних мембран.

Тема 2. Способи модифікування поверхні мембран. Динамічні мембрани і способи їх отримання.

Модифіковані мембрани, основні напрями та методи їх модифікування. Застосування модифікованих мембран.

Основні принципи формування і функціонування динамічних мембран. Пористі підкладки для динамічних мембран. Речовини, які утворюють динамічні мембрани (мембраноутворюючі добавки), та їх вплив на функціональні характеристики мембран. Класифікація динамічних мембран відповідно теоретичної моделі їх формування. Галузі перспективного застосування динамічних мембран.

Тема 3. Дослідження структури і властивостей мембран.

Загальна та ефективна пористість мембран: методи визначення. Розподіл пор в мембранах за розмірами: методи визначення. Оцінка форми та орієнтації пор. Оцінка проникності мембран (питома продуктивність і коефіцієнт проникності) та методи її вимірювання. Оцінка затримувальної здатності мембран (коефіцієнт затримки) та її розрахунок.

Тема 4. Мембрани різного функціонального призначення. Мікро- і ультрафільтраційні мембрани.

Мікрофільтраційні мембрани: особливості їх формування, структура і розміри пор та методи їх отримання. Типи мікрофільтраційних мембран і галузі їх застосування. Керамічні мікрофільтраційні мембрани.

Особливості формування та будова ультрафільтраційних мембран. Основні матеріали, які використовуються для формування ультрафільтраційних мембран. Полімерні та неорганічні ультрафільтраційні мембрани: їх основні параметри. Типи ультрафільтраційних мембран та галузі їх застосування.

Тема 5. Нанофільтраційні та зворотноосмотичні мембрани.

Нанофільтраційні мембрани: визначення, механізм масопереносу, будова та галузі їх практичного застосування.

Зворотноосмотичні мембрани: основні принципи одержання та основні матеріали, що використовуються для їх формування. Технологія мембран, які випускаються промислово, їх основні параметри. Фізико-хімічні методи оцінки структури зворотноосмотичних мембран. Типи зворотноосмотичних мембран та їх застосування.

Тема 6. Загальна характеристика мембранних процесів. Електромембранні процеси. Електродіаліз.

Масоперенос через мембрани. Конвективний і дифузійний механізми. Фактори, що впливають на мембранні процеси.

Принцип електродіалізу. Масоперенос в процесі електродіалізу. Процеси, які відбуваються в електродних камерах. Розділення солей електродіалізом. Концентраційні межі та галузі застосування електродіалізу.

Тема 7. Баромембранні процеси. Мікрофільтрація.

Класифікація мембранних методів, рушійною силою яких є тиск та діапазони їх параметрів. Фактори, які впливають на баромембранні процеси.

Принцип методу та основні завдання мікрофільтрації. Масоперенос при мікрофільтрації. Молекулярно-ситова модель затримки. Утворення осадів на мікрофільтраційних мембранах. Механізми мікрофільтрації з повним закупорюванням пор або формуванням осадів на поверхні мембран та їх практичні наслідки. Основні

відомості про мікрофільтраційні апарати і установки та галузі застосування мікрофільтрації.

Тема 8. Баромембранні процеси. Ультра- і нанофільтрація.

Принцип ультрафільтрації, основні уявлення про його реалізацію та завдання. Масоперенос через ультрафільтраційні мембрани. Моделі для опису механізму затримки. Роль гідродинамічних умов проведення процесу. Межа концентрування. Основні вимоги до технічної реалізації процесу ультрафільтрації. Типові технологічні схеми, апарати і установки та галузі застосування ультрафільтрації.

Розділюючі властивості та механізми мембранного масопереносу при нанофільтрації. Практичне застосування нанофільтрації.

Тема 9. Баромембранні процеси. Зворотний осмос.

Принцип методу. Масоперенос через зворотноосмотичні мембрани. Основні параметри процесу та рівняння для їх розрахунку. Модельний опис зворотноосмотичного переносу. Роль зв'язаної води в явищі напівпроникності. Технічна реалізація зворотного осмосу та галузі його застосування.

Тема 10. Полярізаційні явища та забруднення мембран.

Концентраційна поляризація та її роль в мембранних процесах. Гелева поляризація. Осадоутворення на мембранах. Вплив поляризаційних явищ на питому продуктивність мембран. Способи зниження впливу поляризаційних явищ. Методи регенерації мембран.

3. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Baker R.W. Membrane Technology and Applications. New York: Willey, 2012. 575 p.
2. Norman N. Li. Advanced membrane technology and applications. Wiley-Interscience: 2008. 994 p.
3. Gray S., Tsuru T., Cohen Y., Lau W.-J. Advanced materials for membrane fabrication and modification. CRC Press: 2018. 600 p.
4. Reverse osmosis and nanofiltration. second edition, softbound: American Water Works Association. 2007. 226 p.

5. Мулдер М. Введение в мембранную технологию М.: Мир, 1999. 513 с.
6. Брик М.Т. Енциклопедія мембран.: У 2 т. Київ: Вид. дім «Києво- Могиллянська академія», 2005. 658 с.
7. Дытнерский Ю.И. Баромембранные процессы. Теория и расчет М.: «Химия», 1986. 272 с.
8. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 351 с.
9. Брок Т. Мембранная фильтрация. Москва: Мир. 1987. 464 с. (Brock T.D. Membrane Filtration. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1983. 381 p.).
10. Брык М. Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация Київ: Наукова думка, 1989. 288 с.
11. Брык М.Т., Цапюк Е.А., Твердый А.А. Мембранные технологии в промышленности. Київ: Техніка, 1990. 247 с.
12. Кучерук Д.Д., Балакина М.Н., Дульнева Т.Ю. Очистка воды баромембранными методами на керамических мембранах. Перспективы развития фундаментальных и прикладных исследований в области физики, химии и биологии воды / Под ред. В.В. Гончарука. Киев: Наукова Думка, 2011. С. 162–184.
13. Chandan Das, Sujoy Bose. Advanced ceramic membranes and applications. CRC Press: 2017. 268 p.
14. Abdullayev A., Bekheet M.F., Hanaor D.A.H., Gurlo A. Materials and applications for low-cost ceramic membranes by materials and applications for low-cost ceramic membranes. Membranes (Basel). 2019. Published online 2019.
15. Моделювання процесів мембранного розділення: навчальний посібник [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Гулієнко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 166 с.
16. Гулієнко С.В., Симан І.В. Забруднення мембран та методи їх регенерації: критичний огляд. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2018. № 5. С. 51–56.
17. Мембраны и мембранные технологии / Под ред. А. Б. Ярославцева. М.: Научный мир, 2013. 612 с.

18. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. М.: ДеЛи принт, 2007. 208 с.
19. Тверской В.А. Мембранные процессы разделения. Полимерные мембраны. М.: МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 2008. 59 с.
20. Орлов Н.С. Ультра- и микрофльтрация. М.: РХТУ им. Менделеева, 2014. 117с.
21. Кочаров Р. Г. Теоретические основы обратного осмоса. Учебное пособие. М: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2007. 143 с.
22. Первов А.Г. Современные высокоэффективные технологии очистки питьевой и технической воды с применением мембран, обратный осмос, нанофльтрация, ультрафльтрация: Монография. М.: Издательство АСВ, 2009. 282 с.

4. ФОРМА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ

Екзамен.

5. ЗАСОБИ ДІАГНОСТИКИ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ

Діагностика успішності навчання аспірантів під час проведення **лекційних занять**:

- виконання письмових контрольних робіт по питаннях лекційного курсу;
- усні екзаменаційні завдання.

Діагностика успішності навчання аспірантів під час проведення **практичних занять**:

- усне опитування;
- участь в обговоренні дискусійних питань.

Діагностика успішності навчання аспірантів під час виконання **індивідуальних завдань**:

- підготовка реферату.