

**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 № 2

від «31» січня 2025 р.

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

НАН України,

академік НАН України

Владислав ГОНЧАРУК



**ПРОГРАМА
навчальної дисципліни**

«Мембранні технології»

**ГАЛУЗЬ ЗНАНЬ
СПЕЦІАЛЬНІСТЬ
РІВЕНЬ ОСВІТИ
КВАЛІФІКАЦІЯ**

**10 – ПРИРОДНИЧІ НАУКИ
102 – ХІМІЯ
ТРЕТІЙ (ОСВІТНЬО-НАУКОВИЙ)
ДОКТОР ФІЛОСОФІЇ**

КИЇВ – 2025

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

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

Програму затверджено на засіданні Вченої ради
Інституту колоїдної хімії та хімії води
ім. А. В. Думанського НАН України
протокол № 2 від « 31 » січня 2025 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, зворотноточних, 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 лекцій	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. Mulder M. Basic principles of membrane technology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996. 564 p.
6. Брик М.Т. Енциклопедія мембран.: У 2 т. Київ: Вид. дім «Києво- Могиллянська академія», 2005. 658 с.
7. Pabby A. K., Rizvi S.S.H., Sastre A.M. Handbook of membrane separations. Francis: Taylor, 2009. 1184 p.
8. Дытнерский Ю.И. Обратный осмос и ультрафильтрация. М.: Химия, 1978. 351 с.
9. 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. A.K. Fard, G. McKay, A. Buekenhoudt, H. Al Sulaiti et al. Inorganic membranes: preparation and application for water treatment and desalination. Materials (Basel). 2018. V. 11, N 1. P. 74.

16. Моделювання процесів мембранного розділення: навчальний посібник [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С.В. Гулієнко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. 166 с.

17. Гулієнко С.В., Симан І.В. Забруднення мембран та методи їх регенерації: критичний огляд. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2018. № 5. С. 51–56.

18. Ісаєв С.Д., Брик М.Т. Запобігання забрудненню і регенерація мембран, що використовуються в процесах водоочистки. Наукові записки. Т. 21. Біологія та екологія. 2003. С. 50–58.

19. Тертишний О.О., Тертишна О.В. Мембранні процеси розділення в хімічній технології. Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ, 2010. 180 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. КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ НАВЧАЛЬНИХ ЗДОБУТКІВ АСПРАНТА З ДИСЦИПЛІНИ

Контроль навчальних досягнень аспірантів реалізується за наступною схемою. Оцінюються наступні складники:

- Аудиторна робота аспіранта (письмова модульна контрольна робота МКР по лекційному матеріалу) – 20 б;
- Робота на практичних заняттях (усне опитування, участь в обговоренні дискусійних питань) – 20 б;

- Самостійна робота (реферат) – 20 б;
- Екзамен – 40 б.

МКР виконується звичайно в середині навчального курсу, якщо підсумковий контроль передбачає екзамен. МКР оцінюється наступним чином:

- «відмінно» (20 б) - відповіді на питання чіткі та правильні, повні, обґрунтовані, завдання розв'язані вірно, з поясненнями;
- «добре» (15 б) – відповіді правильні, обґрунтовані, але не вичерпні (містять не менше 75% потрібної інформації), є несуттєві помилки у формулах, термінології, технічних характеристиках;
- «задовільно» (10 б) – відповіді неповні (містять менше 60% необхідної інформації);
- «незадовільно» (5 б) – відповіді носять загальний поверхневий характер, завдання не розв'язані, є помилки у формулах, термінології, технічних характеристиках;
- неявка на МКР – 0 балів.

Усне опитування оцінюється за наступними критеріями (на першому занятті викладач повинен озвучити кількість опитувань та максимальну кількість балів, які можна отримати за кожне опитування, наприклад, 5 опитувань по 2 бали):

- відповідність змісту відповіді поставленим питанням;
- повнота і ґрунтовність викладення матеріалу;
- коректність у формулах, термінології, технічних характеристиках;
- здатність на основі викладеного матеріалу зробити висновки та прогнозування проблеми.

Участь в обговоренні дискусійних питань має продемонструвати знання матеріалів лекцій, практичних занять, обов'язкової літератури та точку зору аспіранта з дискусійного питання й аргументацію щодо неї. Вона оцінюється за наступними критеріями (на першому занятті викладач повинен озвучити кількість обговорень та можливі бали за кожне з них, наприклад, 2 дискусії по 5 балів):

- знання матеріалу теми (поняття, концепції, методи, світова практика);
- певні практичні навички (знання відповідних методик та методів наукових

досліджень);

- грамотність та самостійність у формулювання тверджень, висновків та прогнозів;
- аргументованість та вміння відстояти свою точку зору.

Самостійна робота аспіранта, результатом якої є написання реферату – 20 балів.

Реферат – розробка теми на основі поглибленого вивчення літературних джерел до неї.

Реферат оцінюється за наступними критеріями:

- чіткість і послідовність викладення матеріалу відповідно до самостійно складеного плану (у текстовій частині кожне питання плану має бути виділено окремо);
- правильність та логічність цитувань, ґрунтовність їх узагальнення та висновків, зроблених на основі вивчення літератури загалом;
- наявність і правильне оформлення списку літератури (з точними бібліографічними даними), яку аспірант вивчив і використав при написанні реферату.

У рефераті мають бути відображені головні питання теми і показано вміння відбирати найважливіший та актуальний матеріал, що стосується теми (4 б); переконливо обґрунтовувати і аргументувати головні положення роботи (4 б); викладати питання грамотно, стисло, ясно, послідовно (4 б); робити правильні логічні висновки, узагальнення, прогнозування проблеми (4 б); правильно оформлювати реферат та список використаної літератури, відповідно до вимог викладача дисципліни (4 б). Якщо передбачається публічний захист реферату, викладач повідомляє про це на першому занятті.

Аспірант вважається допущеним до підсумкового контролю – екзамену, якщо він виконав усі види робіт, що передбачені робочою програмою навчальної дисципліни.

Загальна оцінка за екзамен по білету підраховується як сумарна кількість оцінок, отриманих за кожне питання білета (в тому числі й додаткове). Кількість питань в білеті – 4.

Шкала та критерії оцінювання відповіді аспіранта на екзамені:

- «відмінно» (10 б) – аспірант глибоко і всебічно знає зміст запитання, орієнтується в актуальній науковій літературі; логічно мислить і будує відповідь, вільно

використовує набуті теоретичні знання при аналізі та відповіді на питання; пов'язує матеріал дисципліни з сучасними науковими проблемами; демонструє високий рівень компетентності; здатний передбачати, прогнозувати, вирішувати проблемні завдання;

- «дуже добре» (9-8 б) – аспірант правильно, логічно відтворює навчальний матеріал, розуміє основоположні теорії і факти; вміє наводити окремі власні приклади на підтвердження певних думок, застосовує вивчений матеріал у стандартних ситуаціях, вміє робити висновки та частково прогнози;
- «добре» (7-5 б) – аспірант знає навчальний матеріал; послідовно викладає основні положення та висловлює свої міркування по тематиці питання, але припускається певних неточностей, помилок та похибок;
- «задовільно» (4-3 б) – аспірант в основному знає зміст питання, але не досить переконливо відповідає, плутає поняття; не впевнений у відповіді, допускає неточності; не достатньо чітко вміє оцінювати факти та явища, встановлювати взаємозв'язок теорії та практики;
- «незадовільно» (2-1 б) – аспірант не може розкрити суть питання; відповідає лише з допомогою екзаменатора; слабо орієнтується в теорії та сучасному стані проблеми;
- 0 б – неявка на екзамен.

Максимальний бал аспіранта за навчальну дисципліну становить 100 балів. До індивідуального плану вноситься сумарна кількість балів, отримана аспірантом за навчальну дисципліну у графу «Сума балів».

6. ПИТАННЯ ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ БІЛЕТІВ

1. Визначення та класифікація мембран: за природою, структурою, застосуванням та механізмом мембранної дії.
2. Полімерні мембрани, їх властивості. Матеріали для формування пористих полімерних мембран та їх властивості.
3. Неорганічні мембрани, їх класифікація та характеристики.
4. Основні види і властивості керамічних мембран. Матеріали, які використовуються для виробництва керамічних мембран.
5. Методи отримання полімерних мембран: спікання порошків та формування із расплава (витяжка).
6. Методи отримання полімерних мембран: травлення треків і вилуговування із плівки.
7. Методи отримання полімерних мембран: інверсія фаз (формування із розчину).
8. Методи отримання полімерних плоских і трубчастих мембран.
9. Методи отримання композиційних мембран міжфазною полімеризацією та нанесенням при зануренні.
10. Методи отримання композиційних мембран плазмовою полімеризацією, хімічним і фізичним модифікуванням.
11. Вимоги щодо контролю пористості керамічних мембран. Основні стадії отримання і методи формування керамічних мембран.
12. Високотемпературна обробка і спікання та золь-гель-процес у виробництві керамічних мембран.
13. Модифіковані мембрани: основні напрями і методи їх модифікування. Застосування модифікованих мембран.
14. Основні принципи формування і функціонування динамічних мембран та галузі їх перспективного застосування.
15. Пористі підкладки для динамічних мембран. Речовини, які утворюють динамічні мембрани та їх вплив на функціональні характеристики мембран.

- 16 Загальна та ефективна пористість мембран: методи визначення.
- 17 Розподіл пор в мембранах за розмірами: методи визначення. Оцінка форми та орієнтації пор.
- 18 Оцінка проникності мембран (питома продуктивність і коефіцієнт проникності) і методи її вимірювання. Оцінка затримувальної здатності мембран та її розрахунок.
- 19 Мікрофільтраційні мембрани: особливості їх формування, структура і розміри пор.
- 20 Методи визначення розміру пор мікрофільтраційних мембран.
- 21 Типи мікрофільтраційних мембран і галузі їх застосування.
- 22 Ультрафільтраційні мембрани: особливості їх формування та будова.
- 23 Полімерні та неорганічні ультрафільтраційні мембрани: їх основні параметри.
- 24 Фізико-хімічні методи оцінки структури ультрафільтраційних мембран.
- 25 Типи ультрафільтраційних мембран і галузі їх застосування.
- 26 Нанофільтраційні мембрани: визначення, механізм масопереносу, будова і галузі їх практичного застосування.
- 27 Зворотноосмотичні мембрани: основні принципи їх одержання.
- 28 Основні матеріали, які використовуються для формування зворотноосмотичних мембран.
- 29 Фізико-хімічні методи оцінки структури зворотноосмотичних мембран.
Типи зворотноосмотичних мембран та їх застосування.
- 30 Газорозділюючі мембрани: матеріали і основні принципи їх формування.
Структура та властивості газорозділюючих мембран.
- 31 Іонообмінні мембрани: їх формування, структура і властивості. Класифікація іонообмінних мембран.
- 32 Масоперенос через мембрани. Конвективний і дифузійний механізми.
- 33 Вплив на характеристики мембранних процесів робочого тиску, температури, природи, складу та концентрації розчинних речовин, гідродинамічних умов.
- 34 Діаліз: принципи методу, рівняння для розрахунку його параметрів, типи мембран і приклади їх використання.

- 35 Мембранна екстракція. Принципи дії і застосування.
- 36 Мембранна дистиляція. Принципи дії і застосування.
- 37 Первапорація. Принципи дії і застосування.
- 38 Електродіаліз: принцип методу. Процеси, що відбуваються в електродних камерах. Типи електродіалізних мембран і електродів.
- 39 Ефект Доннана як термодинамічна основа механізму електродіалізу. Рівняння для розрахунку його параметрів.
- 40 Основні фактори, які впливають на баромембранні процеси.
- 41 Мікрофільтрація: принцип методу і механізм затримки. Утворення осадів на мікрофільтраційних мембранах.
- 42 Мікрофільтраційні апарати та установки. Галузі їх застосування.
- 43 Ультрафільтрація: принцип методу, масоперенос через ультрафільтраційні мембрани.
- 44 Модельний опис ультрафільтраційного масопереносу.
- 45 Ультрафільтраційні апарати і установки. Галузі застосування ультрафільтрації.
- 46 Нанофільтрація: розділюючі властивості та механізми мембранного масопереносу. Практичне застосування нанофільтрації.
- 47 Принцип методу. Масоперенос через зворотноосмотичні мембрани. Основні параметри процесу та рівняння для їх розрахунку.
- 48 Основні моделі зворотноосмотичного переносу. Роль зв'язаної води в явищі напівпроникності.
- 49 Зворотноосмотичний масоперенос через пористі заряджені мембрани. Мембранна рівновага Доннана.
- 50 Галузі застосування зворотного осмосу. Основні типи технологічних схем і апаратів (плоскорамні, рулонні, трубчаті, капілярні, порожнинні волокна) та установок.
- 51 Концентраційна поляризація та її роль в мембранних процесах. Гелева поляризація. Осадоутворення на мембранах.

52 Вплив поляризаційних явищ на питому продуктивність мембран. Способи зниження впливу поляризаційних явищ. Методи регенерації мембран.