

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

Институт биологии и экологии

УТВЕРЖДАЮ

Директор института

Н.Н. Смирнова

2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**направление подготовки / специальность**

04.03.01 Химия

**направленность (профиль) подготовки**

химический анализ, химическая и экологическая экспертиза объектов окружающей среды

г. Владимир  
2021 год

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Изучение фундаментальных основ селективного разделения веществ на мембранах.

**Задачи:** ознакомление студентов с физико-химическими закономерностями процессов мембранного разделения смесей и основами мембранного материаловедения; формирование представлений о видах мембранных процессов, существующих способах их получения, свойствах и возможностях практического применения.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Мембраны и мембранные технологии» относится к обязательной части ОПОП.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине «Мембраны и мембранные технологии», соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-4 способен проводить химический анализ растворов, материалов и образцов изделий в соответствии с требованиями технологической документации	ПК-4.1 Знает стандарты, методики и инструкции, определяющие порядок разработки и оформления отчетной документации по результатам исследований и разработок; ПК-4.2. Умеет выбирать методы, инструменты и оборудование для проведения химического анализа; ПК-4.3. Владеет современными методами проведения экспериментов и наблюдений в области профессиональной деятельности	<b>Знает:</b> фундаментальные основы процессов мембранного разделения; <b>Владеет:</b> методологией получения мембран и оценки их свойств; <b>Умеет:</b> формулировать требования к мембранным материалам, исходя из поставленной материаловедческой (технологической) задачи	Вопросы, тестовые вопросы
ПК-7 способен производить качественную оценку рационального использования природ-	ПК-7.1. Знает экологическое законодательство Российской Федерации; нормативные и методические материалы по охране окружающей среды и ра-	<b>Знает:</b> возможности мембранных методов разделения при решении различных практических задач; <b>Владеет:</b> навыками ис-	Вопросы, тестовые вопросы

ных ресурсов в соответствии с нормативными и методические материалы по охране окружающей среды	циональному использованию природных ресурсов; ПК-7.2. Умеет формировать отчетную документацию в соответствии с требованиями экологических нормативов; ПК-7.3. Владеет навыками оценивания развития экологической обстановки на объектах при различной антропогенной нагрузке	пользования мембранных процессов в различных технологических схемах; <b>Умеет:</b> применять результаты исследований для оценки эффективности и целесообразности внедрения мембранных технологий	
--	--	---	--

#### 4. ОБЪЁМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 часа.

##### Тематический план форма обучения – очная

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником (в часах)				СРС	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	В форме практической подготовки		
1.	Введение.	7	1	2				3	
2.	Вода: особенности структуры и свойств.	7	1	2				3	
3.	Мембранные материалы.	7	2-3	6				3	
4.	Получение синтетических мембран.	7	4-7	12				3	Рейтинг-контроль № 1
5.	Определение структуры и свойств мембран.	7	8	2		36	20	3	
6.	Мембранные процессы.	7	9-13	16				3	Рейтинг-контроль № 2
7.	Поляризационные явления.	7	14-15	4				3	
8.	Мембранная техника.	7	15-16	4				3	
9.	Прикладная мембранная технология.	7	17-18	6				3	Рейтинг-контроль № 3
Итого по дисциплине, час.		144		54		36		27	Экзамен, 27

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

### Раздел 1. Введение.

Тема 1: История развития мембранных технологий.

Содержание темы:

Процессы разделения. Определение мембраны. Этапы развития мембранной технологии. Работы Леба и Сурираджана. Промышленная мембранная технология.

### Раздел 2. Вода.

Тема 1: Особенности структуры и свойств.

Содержание темы:

Структура жидкой воды. Водные растворы. Растворы электролитов и неэлектролитов. Энергетические эффекты растворения. Осмотическое давление. Осмотическая машина.

### Раздел 3. Мембранные материалы.

Тема 1: Полимеры и их свойства.

Содержание темы:

Гибкость цепи. Молекулярная масса. Физическое состояние. Межмолекулярное взаимодействие. Термическая и химическая стабильность. Механические свойства. Растворы и расплавы полимеров.

Тема 2. Полиэлектролиты и биологические мембраны.

Содержание темы:

Полимерные электролиты. Полиэлектролитные комплексы. Мультислойные системы. Биологические мембраны.

Тема 3. Неорганические мембраны.

Содержание темы:

Мембраны из микропористого стекла. Металлические мембраны. Мембраны из керамики. Мембраны из графита.

### Раздел 4. Получение синтетических мембран.

Тема 1: Инверсия фаз.

Содержание темы:

Осаждение с помощью испарения растворителя, под действием паровой фазы, путем погружения. Термическое осаждение.

Тема 2. Методы получения композитных мембран.

Содержание темы:

С разделительным слоем, полученным методом полива на подложку, на поверхность воды, методом межфазной поликонденсации. Динамические и нанесенные мембраны.

Тема 3. Трековые мембраны. Получение полых волокон.

Содержание темы:

Особенности технологии. Используемые материалы.

Тема 4. Электроспиннинг и 3Д-принтирование.

Содержание темы:

Технология. Материалы. Перспективы применения.

Тема 5. Модификация мембран.

Содержание темы:

Физическая и химическая модификация. Имобилизация активных компонентов.

Тема 6. Параметры, влияющие на морфологию мембраны.

Содержание темы:

Составы формовочного раствора и коагуляционной ванны. Условия формования.

### Раздел 5. Определение структуры и свойств мембран.

Содержание темы:

Общая пористость. Размер пор. Физико-механические характеристики мембран. Технологические свойства мембран. Методы калибровки пористых мембран.

### Раздел 6. Мембранные процессы.

Темы 1-3: Массоперенос через мембраны. Баромембранные процессы.

Содержание темы:

Обратный осмос. Ультрафильтрация. Микрофильтрация. Нанофильтрация.

Темы 4-5: Диффузионные мембранные процессы.

Содержание темы:

Разделение газовых смесей. Диализ. Мембранная экстракция (жидкие мембраны)

Тема 6: Термомембранные процессы.

Содержание темы:

Мембранная дистилляция. Первапорация.

Тема 7: Электромембранные процессы.

Содержание темы:

Электродиализ. Движущая сила. Параметры процесса. Мембраны. Применения.

**Раздел 7. Поляризационные явления.**

Тема 1: Концентрационная поляризация.

Содержание темы:

Понятие концентрационной поляризации. Гелевая поляризация. Осадкообразование на мембране. Влияние поляризационных явлений на удельную производительность мембран.

Тема 2: Способы снижения влияния поляризационных явлений.

Содержание темы:

Предварительная обработка разделяемых растворов. Изменения параметров проведения процессов. Регенерация мембран.

**Раздел 8. Мембранная техника.**

Тема 1: Мембранные элементы.

Содержание темы:

Аппараты с плоскими, рулонными, патронными, трубчатыми мембранными элементами.

Тема 2: Мембранные установки.

Содержание темы:

Регенерация мембран. Рекуперация энергии. Контроль, управление.

**Раздел 9. Прикладная мембранная технология.**

Тема 1: Приемы осуществления мембранных процессов разделения.

Содержание темы:

Диафильтрация, мицеллярно-усиленная ультрафильтрация

Тема 2: Рынок мембранных технологий.

Содержание темы:

Биотехнология, медицина, переработка промышленных отходов. Получение сверхчистой воды.

### **Содержание лабораторных занятий по дисциплине**

**Раздел 5. Определение структуры и свойств мембран.**

Лабораторная работа № 1 «Определение удельной производительности мембран по воде».

Лабораторная работа № 2 «Определение селективности мембран по водорастворимым полимерам и белкам».

Лабораторная работа № 3 «Определение адсорбционной способности мембран по различным компонентам».

Лабораторная работа № 4 «Изучение иммобилизации на поверхности пористых мембран микро- и макролигандов различной природы».

## **5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ**

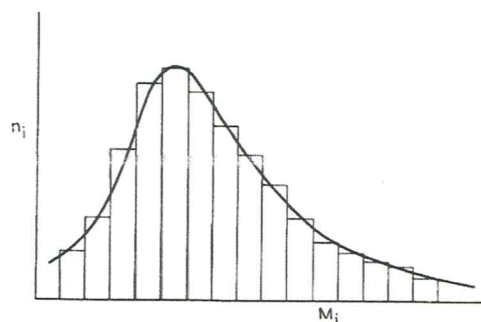
## 5.1. Текущий контроль успеваемости

### Рейтинг-контроль №1:

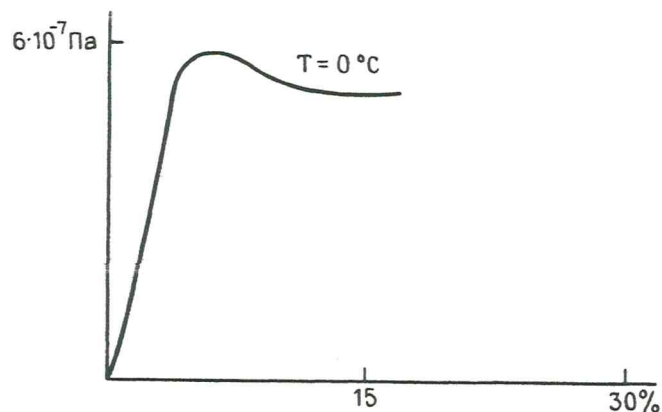
1. Вода. Особенности структуры. Водные растворы. Растворы электролитов и неэлектролитов.
2. Энергетические эффекты растворения. Осмотическое давление. Осмотическая машина.
3. Мембранные материалы. Полимеры. Гибкость цепи. Молекулярная масса. Межмолекулярное взаимодействие. Физическое состояние. Термическая и химическая стабильность. Механические свойства. Растворы и расплавы полимеров.
4. Мембранные полимеры: пористые и непористые мембраны.
5. Полимерные электролиты. Полиэлектролитные комплексы. Мультислойные системы.
6. Биологические мембраны. Моделирование биологических мембран.
7. Неорганические мембраны. Мембраны из микропористого стекла. Металлические мембраны. Мембраны из керамики. Мембраны из графита.
8. Методы получения синтетических мембран: инверсия фаз.
9. Методы получения синтетических мембран: композитные мембраны.
10. Методы получения синтетических мембран: трековые мембраны.
11. Методы получения синтетических мембран: полые волокна.
12. Методы получения синтетических мембран: электроспиннинг.
13. Методы получения синтетических мембран: 3D-принтирование.
14. Способы модификации мембран: физическая модификация.
15. Способы модификации мембран: химическая модификация.
16. Способы модификации мембран: ковалентная и нековалентная иммобилизация активных компонентов.
17. Морфология мембраны: способы ее регулирования.

#### Примеры задач:

1. Определите величину  $\pi$  водопроводной воды: солесодержание (по NaCl) – 0.5 г/л, температура – 10°C. Молекулярная масса – 58.5;  $T^{\circ}K = 283$ ;  $R = 8.31$  Дж/моль $\cdot$ К;  $i = 2$ .
2. Рассчитайте мощность, вырабатываемую 1 м<sup>2</sup> мембраны в осмотической машине при следующих условиях:  $K_G = 3 \cdot 10^{-11}$  м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с Па;  $\pi_{мв} = 2.66 \cdot 10^6$  Па;  $\pi_{рв} = 0.04 \cdot 10^6$  Па;  $P_{раб}$  – половина разности  $\Delta\pi$ .
3. Определите среднечисловую и средневесовую молекулярную массу образца полимера, состоящего из двух фракций: 1 – 10 г вещества с  $M = 10000$ ; 2 – 10 г вещества с  $M = 50000$ .

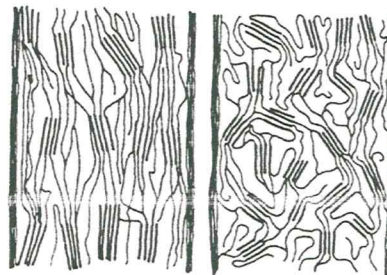


4. На рис. показана кривая напряжение – деформация для ацетата целлюлозы при 0°C. Постройте аналогичные кривые при 25 и 60° С.



Примеры тестовых заданий:

- Уравнение Вант-Гоффа для растворов электролитов:
  - $\pi = i \cdot c_i \cdot R \cdot T$ ;
  - $\pi = c_i \cdot R \cdot T$ ;
  - $x_i = k \cdot p_i$
- Число сольватации для иона натрия в растворе составляет:
  - 4;
  - 6;
  - 9.
- В основе тепловых эффектов растворения веществ лежит:
  - диссоциация растворенного вещества;
  - разрушение кластерной системы воды;
  - сольватация ионов электролита.
- На рис. представлена структура полимера:
  - кристаллического;
  - аморфного;
  - частично-кристаллического.



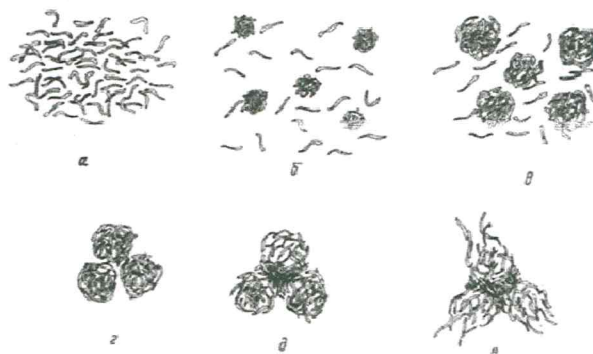
- К частично-кристаллическим полимерам относят:
  - полиэтилен;
  - полипропилен;
  - полиамиды.
- Величина свободного объема в полимере зависит:
  - от его структуры;
  - от скорости гидролиза полимера;
  - от скорости микробной деградации.
- Термическая стабильность полимеров зависит:
  - от степени кристалличности;
  - от их растворимости;
  - от природы полимеров.

8. Полиэлектролиты в качестве мембранных материалов используют:
- А) в электродиализе;
  - Б) в ультра- и микрофльтрации;
  - В) в первапорации.

9. Основные методы получения полимерных мембран:
- А) формование из раствора или расплава;
  - Б) выщелачивание части полимера;
  - В) спекание порошков.

10. На схеме показан процесс формования:

- А) пористой мембраны методом сухого формования;
- Б) пористой мембраны методом мокрого формования;
- В) непористой мембраны методом сухого формования.



11. Классификация мембранных процессов осуществляется в зависимости:

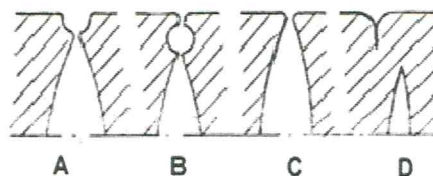
- А) от величины химического потенциала;
- Б) от величины электрохимического потенциала;
- В) от величины совмещенного потенциала.

12. К пористым мембранам относятся:

- А) микрофльтрационные;
- Б) первапорационные;
- В) ультрафльтрационные.

13. На рис. показаны формы каналов, возникающих

- А) в пористых мембранах, полученных сухим способом;
- Б) в трековых мембранах;
- В) в пористых мембранах, полученных мокрым способом.



14. В состав поливочного раствора при формовании мембраны методом мокрого формования вводят:

- А) полимер;
- Б) растворитель;
- В) осадитель;
- Г) порообразователь;
- Д) пластификатор.

15. На тип структуры мембраны, полученной методом инверсии фаз, оказывают влияние:

- А) материал подложки;
- Б) толщина получаемого материала;
- В) природа системы растворитель/нерастворитель;
- Г) температура коагуляционной ванны.



## Рейтинг-контроль №2:

1. Методы определения структуры и свойств мембран. Общая пористость.
2. Методы определения структуры и свойств мембран. Размер пор.
3. Методы определения структуры и свойств мембран. Физико-механические характеристики мембран.
4. Методы определения структуры и свойств мембран. Технологические свойства мембран.
5. Методы определения структуры и свойств мембран. Методы калибровки пористых мембран.
6. Баромембранные процессы. Микрофльтрация.
7. Баромембранные процессы. Ультрафльтрация.
8. Баромембранные процессы. Нанофльтрация.
9. Баромембранные процессы. Обратный осмос.
10. Диффузионные мембранные процессы. Разделение газовых смесей.
11. Диффузионные мембранные процессы. Диализ.
12. Диффузионные мембранные процессы. Мембранная экстракция (жидкие мембраны).
13. Термомембранные процессы. Мембранная дистилляция.
14. Термомембранные процессы. Первапорация.
15. Электромембранные процессы. Электродиализ.

### Примеры задач:

1. Толщина мембраны – 100 мкм, средний диаметр пор – 0.1 мкм, извилистость  $\tau = 1$ , пористость  $\varepsilon = 0,6$ . Через мембрану проникает вода при перепаде давления 1 бар. Коэффициент диффузии воды в сплошном материале мембраны  $D = 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ , вязкость при  $20^\circ\text{C}$   $\eta = 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .  
Определить вклад конвективной и диффузионной составляющей в общий поток воды.
2. Для опреснения морской воды с концентрацией солей (по NaCl) 32.0 г/л предложены 4 мембраны с различным солезадержанием:
  - 1 – полипропиленовая,  $R = 50\%$ ;
  - 2 – полисульфоновая,  $R = 90\%$ ;
  - 3 – ацетатцеллюлозная,  $R = 98.5\%$ ;
  - 4 – полиамидная,  $R = 99.8\%$ .

Определить пригодность мембран для получения питьевой воды, если  $C_{\text{норм}} = 500 \text{ мг/л}$ .

3. Определить абсолютную и практическую селективность разделения воздуха на мембране из силиконового каучука вакуумным способом, если

$$\text{коэффициенты растворимости } S^{\text{O}_2} = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ см}^3 (\text{н.у.}) / \text{см}^3 \cdot \text{см Hg};$$
$$S^{\text{N}_2} = 10^{-3} \text{ см}^3 (\text{н.у.}) / \text{см}^3 \cdot \text{см Hg};$$

$$\text{коэффициенты диффузии } D^{\text{O}_2} = 3.6 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с};$$
$$D^{\text{N}_2} = 0.9 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}.$$

### Примеры тестовых заданий:

1. В случае баромембранных процессов преобладающим градиентом движущей силы массопереноса вещества через мембрану является:
  - А)  $\Delta P$ ;
  - Б)  $\Delta T$ ;
  - В)  $\Delta U$ .
2. Основными классификационными признаками баромембранных процессов являются:
  - А) размер задерживаемых мембраной частиц;
  - Б) адсорбционная способность проникающего компонента;

- В) химическое сродство материала мембраны и проникающего компонента;  
 Г) размер пор мембраны;  
 Д) величина рабочего давления.
3. Какой из мембранных процессов не является баромембранным:  
 А) нанофильтрация;  
 Б) обратный осмос;  
 В) микрофильтрация;  
 Г) мембранная дистилляция.
4. Диффузионный перенос вещества через мембрану определяется:  
 А)  $G = K_G \cdot \Delta\mu;$   
 $\varepsilon \cdot r^2 \quad \Delta P$   
 Б)  $G = \frac{\Delta C}{8\eta \cdot \tau} \cdot \frac{\Delta P}{l};$   
 В)  $G = D \cdot \frac{\Delta C}{l}.$
5. Коэффициент удельной производительности мембраны  $K_G$  зависит:  
 А) от величины приложенного давления;  
 Б) от порометрических характеристик мембраны;  
 В) от физико-химических свойств материала мембраны.
6. В процессе концентрирования растворов методом обратного осмоса с ростом концентрации в системе «вода-растворенное вещество-мембрана» происходит:  
 А) увеличение размеров гидратированных ионов;  
 Б) уменьшение размеров гидратированных ионов;  
 В) рост осмотического давления;  
 Г) увеличение толщины слоя связанной воды.
7. Полное задержание белковых молекул начинается с величины параметра  $r_c/r_p$ :  
 А) 1.0;  
 Б) 0.5;  
 В) 0.1;  
 Г) 0.35.
8. Микрофильтрацию применяют:  
 А) для концентрирования растворов солей;  
 Б) для выделения и разделения белков;  
 В) для выделения микробных суспензий.
9. Механизм «транспорта с переносчиком» реализуется в процессах:  
 А) ультрафильтрации;  
 Б) первапорации;  
 В) мембранной экстракции.
10. В каком из процессов мембрана не участвует непосредственно в разделении:  
 А) нанофильтрация;  
 Б) диализ;  
 В) мембранная дистилляция.
11. Для разделения азеотропных смесей используют:  
 А) мембранную дистилляцию;

- Б) первапорацию;
  - В) электродиализ.
12. Какой из методов получения синтетических мембран позволяет получить структуру с цилиндрическими порами с узким распределением по размерам:
- А) спекание;
  - Б) инверсия фаз;
  - В) травление ядерных треков.
13. По увеличению общей пористости мембраны могут быть расположены в следующем порядке:
- А) асимметричные полимерные, трековые, неорганические;
  - Б) трековые, неорганические, асимметричные полимерные;
  - В) асимметричные полимерные, неорганические, трековые.
14. Для определения размера пор мембран используют следующие нетранспортные методы:
- А) электронную микроскопию;
  - Б) ртутную порометрию;
  - В) точку пузырька;
  - Г) проточную порометрию.
15. К технологическим свойствам мембран относятся:
- А) толщина;
  - Б) анизотропия;
  - В) удельная производительность (проницаемость);
  - Г) задерживающая способность.

### Рейтинг-контроль № 3:

1. Поляризационные явления. Концентрационная поляризация.
2. Поляризационные явления. Гелевая поляризация.
3. Поляризационные явления. Осадкообразование на мембране.
4. Влияние поляризационных явлений на удельную производительность мембран.
5. Способы снижения влияния поляризационных явлений. Предварительная обработка разделяемых растворов. Изменения параметров проведения процессов. Регенерация мембран.
6. Мембранная техника. Аппараты с плоскими, рулонными, патронными, трубчатыми мембранными элементами.
7. Мембранные установки. Контроль, управление. Рекуперация энергии.
8. Мембранные установки. Регенерация мембран.
9. Прикладная мембранная технология. Диафильтрация (на любом примере).
10. Прикладная мембранная технология. Мицеллярно-усиленная ультрафильтрация (на любом примере).
11. Рынок мембранных технологий. Биотехнология (на любом примере).
12. Рынок мембранных технологий. Медицина (на любом примере).
13. Рынок мембранных технологий. Переработка промышленных отходов (на любом примере).
14. Рынок мембранных технологий. Получение сверхчистой воды (на любом примере).

### Примеры задач:

1. Для опреснения воды Черного моря ( $C_0=32$  г/л) проектируется мембранная установка обратного осмоса производительностью по пермеату  $100$  м<sup>3</sup>/ч.

Используются рулонные мембранные элементы на полиамидной мембране, рассчитанные на рабочее давление 55 бар, с наблюдаемой селективностью по NaCl 98.2%.

Площадь мембраны в рулонном модуле – 3 м<sup>2</sup>.

Удельная производительность этой мембраны в предварительных испытаниях, проведенных на водопроводной воде (0.5 г/л по NaCl), при рабочем давлении 15 атм, составила 55 л/м<sup>2</sup>ч.

Усредненная концентрация продукта не должна превышать 0,75 г/л.

К.п.д. насоса – 0.65, к.п.д. рекуператора энергии – 0.75. Гидравлическое сопротивление установки – 5 бар.

Рассчитать необходимую площадь мембран и количество модулей.

Определить удельный расход энергии (кВт/м<sup>3</sup>) без рекуперации и с рекуперацией.

Толщина мембраны – 100 мкм, средний диаметр пор – 0.1 мкм, извилистость  $\tau = 1$ , пористость  $\varepsilon = 0.6$ .

Через мембрану проникает вода при перепаде давления 1 бар. Коэффициент диффузии воды в сплошном материале мембраны  $D = 10^{-9}$  см<sup>2</sup>/с, вязкость при 20°C  $\eta = 10^{-3}$  Па·с.

- Исходный раствор объемом 6 м<sup>3</sup> содержит белковый компонент (А) с молекулярной массой 65000, концентрация  $C_A = 2.0$  г/л, и солевой компонент (В) с молекулярной массой 58, концентрация  $C_B = 5.0$  г/л.

Необходимо провести концентрирование и обессоливание белкового компонента до концентраций  $C_A^k = 24$  г/л и  $C_B^k < 0.05$  г/л.

- Удельная производительность трубчатой микрофльтрационной мембраны по культуральной жидкости, содержащей дрожжевые клетки ( $d = 1$  мкм), при давлении 0.25 МПа составляет 300 л/м<sup>2</sup>час.

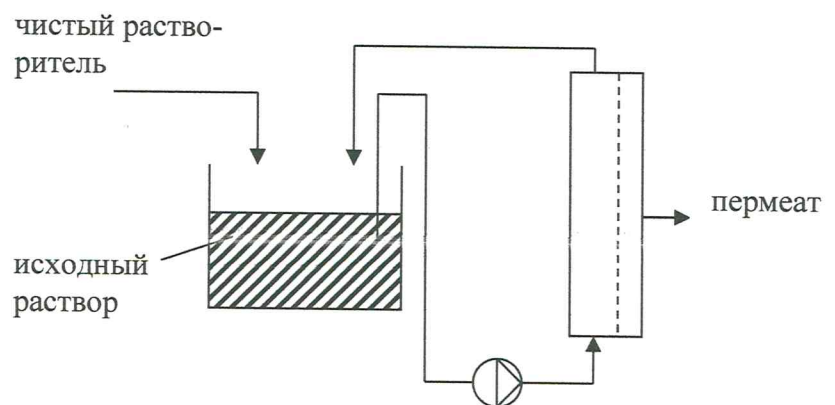
Рассчитать степень концентрирования потока в условиях предотвращения отложений микроорганизмов на поверхности мембраны, если ее диаметр – 16 мм,  $L = 2$  м, коэффициент взаимодействия клеток с мембраной  $k = 5.6 \cdot 10^3$ , а линейная скорость жидкости в пограничном слое составляет 0.125 от скорости по оси канала.

*Примеры тестовых заданий:*

- Концентрационной поляризацией называется:
  - формирование у поверхности мембраны пограничного слоя, в котором концентрация растворенного вещества больше, чем в исходном растворе;
  - формирование у поверхности мембраны слоя ассоциированных высокомолекулярных соединений;
  - формирование у поверхности мембраны осадка, включающего коллоидные и взвешенные органические и неорганические вещества.
- Концентрационная и гелевая поляризация - явления:
  - обратимые;
  - стационарные;
  - необратимые;
  - динамические.
- Основная причина снижения проницаемости в процессе мембранного разделения:
  - концентрационная поляризация;
  - гелевая поляризация;
  - накапливание на поверхности осадка.
- Интенсивность формирования на поверхности мембраны осадка зависит от:
  - гидрофильности материала;
  - дзета-потенциала поверхности материала;
  - размеров пор мембраны;
  - температуры;
  - рН.

5. Рост гидрофильности мембраны способствует:
  - А) ускорению снижения производительности за счет эффектов осаждения частиц;
  - Б) замедлению снижения производительности за счет эффектов осаждения частиц;
  - В) не оказывает влияния на характер изменения производительности во времени.
  
6. Дзета-потенциал мембраны с ростом рН:
  - А) увеличивается;
  - Б) уменьшается;
  - В) характер зависимости определяется природой материала.
  
7. К способам снижения поляризационных явлений за счет предварительной обработки растворов относятся:
  - А) фильтрация;
  - Б) коагуляция;
  - В) обеззараживание;
  - Г) изменение рН раствора;
  - Д) умягчение воды;
  - Е) повышение температуры раствора.
  
8. К способам снижения поляризационных явлений за счет изменения параметров проведения процесса относятся:
  - А) снижение скорости потока вдоль мембраны;
  - Б) турбулизация потока;
  - В) введение в поток гетерогенных частиц;
  - Г) изменение рН раствора;
  - Д) умягчение воды.
  
9. Основные способы регенерации мембран:
  - А) реверсивный поток концентрата;
  - Б) механическая очистка;
  - В) химическая очистка.
  
10. Для химической регенерации мембран используют:
  - А) неорганические кислоты;
  - Б) органические кислоты;
  - В) полимерные электролиты;
  - Г) ПАВ;
  - Д) растворители;
  - Е) спирты.
  
11. В качестве стерилизующих агентов при обработке мембран применяют:
  - А) водяной пар;
  - Б) формалин;
  - В) лимонную кислоту;
  - Г) перекись водорода;
  - Д) этанол;
  - Е) серную кислоту.
  
12. В состав мембранного элемента входят:
  - А) мембрана, дренаж;
  - Б) мембрана;
  - В) мембрана, дренаж, герметик.

13. Несколько мембранных элементов, объединенных общей камерой сбора пермеата образуют:
- мембранный модуль;
  - мембранную установку;
  - мембранный аппарат.
14. Мембранные элементы могут быть:
- плоскими;
  - рулонными;
  - патронными;
  - трубчатыми;
  - капиллярными.
15. На рис. представлена схема мембранного разделения с:
- диафильтрацией;
  - первапорацией;
  - мицеллярно-усиленной ультрафильтрацией.



## 5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

### Контрольные вопросы для проведения промежуточной аттестации (экзамена):

- Мембранные материалы. Полимеры. Гибкость цепи. Молекулярная масса. Межмолекулярное взаимодействие. Физическое состояние. Термическая и химическая стабильность. Механические свойства. Растворы и расплавы полимеров.
- Мембранные полимеры: пористые и непористые мембраны.
- Полимерные электролиты. Полиэлектролитные комплексы. Мультислойные системы.
- Биологические мембраны. Моделирование биологических мембран.
- Неорганические мембраны. Мембраны из микропористого стекла. Металлические мембраны. Мембраны из керамики. Мембраны из графита.
- Методы получения синтетических мембран: инверсия фаз.
- Методы получения синтетических мембран: композитные мембраны.
- Методы получения синтетических мембран: трековые мембраны.
- Методы получения синтетических мембран: полые волокна.
- Методы получения синтетических мембран: электроспиннинг.
- Методы получения синтетических мембран: 3D-принтирование.
- Способы модификации мембран: физическая модификация.
- Способы модификации мембран: химическая модификация.
- Способы модификации мембран: ковалентная и нековалентная иммобилизация активных компонентов.
- Морфология мембраны: способы ее регулирования.
- Методы определения структуры и свойств мембран. Общая пористость.
- Методы определения структуры и свойств мембран. Размер пор.

18. Методы определения структуры и свойств мембран. Физико-механические характеристики мембран.
19. Методы определения структуры и свойств мембран. Технологические свойства мембран.
20. Методы определения структуры и свойств мембран. Методы калибровки пористых мембран.
21. Баромембранные процессы. Микрофльтрация.
22. Баромембранные процессы. Ультрафльтрация.
23. Баромембранные процессы. Нанофльтрация.
24. Баромембранные процессы. Обратный осмос.
25. Диффузионные мембранные процессы. Разделение газовых смесей.
26. Диффузионные мембранные процессы. Диализ.
27. Диффузионные мембранные процессы. Мембранная экстракция (жидкие мембраны).
28. Термомембранные процессы. Мембранная дистилляция.
29. Термомембранные процессы. Первапорация.
30. Электромембранные процессы. Электродиализ.
31. Поляризационные явления. Концентрационная поляризация.
32. Поляризационные явления. Гелевая поляризация.
33. Поляризационные явления. Осадкообразование на мембране.
34. Влияние поляризационных явлений на удельную производительность мембран.
35. Способы снижения влияния поляризационных явлений. Предварительная обработка разделяемых растворов. Изменения параметров проведения процессов. Регенерация мембран.
36. Мембранная техника. Аппараты с плоскими, рулонными, патронными, трубчатыми мембранными элементами.
37. Мембранные установки. Контроль, управление. Рекуперация энергии.
38. Мембранные установки. Регенерация мембран.
39. Прикладная мембранная технология. Диафльтрация (на любом примере).
40. Прикладная мембранная технология. Мицеллярно-усиленная ультрафльтрация (на любом примере).
41. Применение мембранных процессов в биотехнологии.
42. Мембранные реакторы.
43. Применение мембранных процессов в медицине.
44. Мембранные процессы в водоподготовке и водоочистке.
45. Мембранные процессы и переработка промышленных отходов.
46. Использование мембран при получении сверхчистой воды.
47. Применение мембран при дегидратации этанола.
48. Мембраны в процессах нефтепереработки.
49. Использование мембран для извлечения паров органических веществ.
50. Мембранные технологии в процессах обессоливания морской воды.

### 5.3. Самостоятельная работа обучающегося

#### Вопросы для проведения контроля самостоятельной работы:

1. Применение мембранных процессов в биотехнологии.
2. Мембранные реакторы.
3. Применение мембранных процессов в медицине.
4. Мембранные процессы в водоподготовке и водоочистке.
5. Переработка промышленных отходов.
6. Сверхчистая вода.
7. Дегидратация этанола.
8. Мембраны в процессах нефтепереработки.

9. Извлечение паров органических веществ.
10. Обессоливание морской воды.

Контрольные вопросы п. 5.3. включены в перечень вопросов для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонд оценочных материалов для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронном каталоге ЭБС
<b>Основная литература</b>		
Козадерова О.А., Ким К.Б., Нифталиев С.И. Мембранные процессы. Воронеж: ВГУИТ.	2019	<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785000324325.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785000324325.html</a>
Фазылова Д. И. Мембранные процессы разделения. Казань: КНИТУ.	2018	<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785788225289.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785788225289.html</a>
Болдырев А.А. Биомембранология. Новосибирск: СФУ.	2008	<a href="https://znanium.com/catalog/document?id=16916">https://znanium.com/catalog/document?id=16916</a>
Амелин В.Г. Спектроскопические методы анализа: практикум. Владимир: ВлГУ.	2008	75 печ. экз. в библиотеке ВлГУ
<b>Дополнительная литература</b>		
Никифоров Ю.В., Казакова А.А., АLEXИНА М.Б. Процессы диффузии и адсорбции в инженерных задачах. Примеры расчета. М: МГТУ им. Н. Э. Баумана	2019	<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785703852057.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785703852057.html</a>
Таранцева К. Р., Таранцев К. В. Процессы и аппараты химической технологии в технике защиты окружающей среды. М: ИНФРА-М.	2019	<a href="https://znanium.com/catalog/document?id=367311">https://znanium.com/catalog/document?id=367311</a>

### 6.2. Периодические издания

Журналы:

«Успехи химии»

«Химия и химическая технология»

«Биомедицинская химия»

«Мембраны и мембранные технологии» <http://www.memtech.ru/index.php/ru/journal>



### 6.3. Интернет-ресурсы.


1. Информационный ресурс кафедры Мембранной технологии Российского Химико-Технологического Университета им. Д.И. Менделеева:  
<http://www.membrane.msk.ru>
2. <http://www.scirus.com/>
3. <http://www.abc.chemistry.bsu.by/current/fulltext.htm>
4. <http://www.anchem.ru/literature/>
5. <http://www.sciencedirect.com>
6. <http://chemteq.ru/lib/book>
7. <http://www.chem.msu.su/rus>
8. <http://djvu-inf.narod.ru/nclib.htm>
9. <http://www.elsevier.com/>
10. <http://www.uspkhim.ru/>
11. <http://www.strf.ru/database.aspx>

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы. Лабораторные работы проводятся в лаборатории кафедры химии ВлГУ.

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия.

Рабочую программу составил  д.х.н. профессор кафедры химии  
Смирнова Н.Н.

Рецензент  
 к.х.н. вед.н.с. лаборатории химического анализа ФГБУ «Федеральный центр охраны здоровья животных» Большаков Д.С.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры химии

Протокол № 10 от 25.06 2021 года

Заведующий кафедрой  /Кухтин Б.А./

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 04.03.01 Химия.

Протокол № 10 от 25.06 2024 года

Председатель комиссии  /Кухтин Б.А./

(ФИО, подпись)

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

### **ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

в рабочую программу дисциплины  
**МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**  
образовательной программы направления подготовки 04.03.01 Химия

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполни- тель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ /  
*Подпись* *ФИО*