

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)

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор  
по НРИП  
А.О. Кучерик  
« 30 » 09 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
МЕМБРАНЫ И МЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки 04.06.01 Химические науки

Направленность подготовки Высокомолекулярные соединения

Уровень высшего образования подготовка кадров высшей квалификации

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ акад. час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экз./зачет)
3	3/108	36	4	-	32	Экз. 36
Итого	3/108	36	4	-	32	Экз. 36

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

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

**Задачи:** Ознакомление 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» (Б1.В.ДВ.1.1) относится к вариативной части ОПОП.

Данный курс опирается на знания по физике, математике, физической химии и химии высокомолекулярных соединений.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине «Мембраны и мембранные технологии», соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-1 способен самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	частичное	В результате освоения дисциплины аспирант должен демонстрировать следующие результаты обучения: <b>Знать:</b> фундаментальные основы процессов мембранного разделения; <b>Владеть:</b> методологией получения мембран и оценки их свойств с помощью современных методов исследования; <b>Уметь:</b> планировать эксперимент, исходя из поставленной научно-исследовательской задачи
ОПК-2 готов организовать работу исследовательского коллектива в области химии и смежных наук	частичное	<b>Знать:</b> физико-химические закономерности процессов мембранного разделения смесей; <b>Владеть:</b> навыками получения необходимых данных в рамках научных теоретических и/или экспериментальных исследований в области мембран и мембранных технологий; <b>Уметь:</b> применять полученные научным коллективом данные для решения исследовательской, проектной или технологической задачи

ОПК-3 готов преподавательской деятельности основным образовательным программам высшего образования	к по	частичное	<b>Знать:</b> об основных закономерностях получения и применения мембран для решения аналитических и технологических задач; <b>Владеть:</b> навыками преподавания теоретических основ мембранного материаловедения; <b>Уметь:</b> транслировать полученные знания в форме законченных лекционных курсов
УК-3 готов участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач		частичное	<b>Знать:</b> теоретические и практические основы мембранных процессов; <b>Владеть:</b> навыками коммуникации на различных стадиях проведения исследований в области мембран и мембранных технологий; <b>Уметь:</b> решать частные исследовательские задачи в рамках российских и/или международных исследовательских коллективов
УК-5 способен планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития		частичное	<b>Знать:</b> современное состояние мембранного материаловедения и промышленной мембранной технологии; <b>Владеть:</b> навыками аналитической и экспериментальной работы; <b>Уметь:</b> анализировать полученную информацию для решения задачи профессионального роста в области мембранной технологии

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу аспирантов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Введение.	3	1	2			6	2/100	
2	Мембранные материалы и их свойства.	3	2-5	8			6	8/100	
3	Методы получения и модификации мембран	3	6-10	10			6	10/100	
4	Характеристики мембран. Методы определения структуры и свойств.	3	11-13	6			6	6/100	



5	Процессы мембранного разделения.	3	14-18	10	4		8	10/71	
Итого за семестр:				36	4				Экзамен, 36
Наличие в дисциплине КП/КР		-							
Всего по УП		108		36	4		32	36/90	Экзамен, 36

### 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. Мембранные материалы и их свойства.

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 3. Методы получения и модификации 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 4. Характеристики мембран. Методы определения структуры и свойств.

Тема 1: Методы определения структуры и свойств мембран.

Содержание темы:

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

**Раздел 5.** Процессы мембранного разделения.

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

Содержание темы:

Транспорт в мембранах. Движущие силы мембранных процессов. 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.

### **Содержание практических занятий по дисциплине**

**Раздел 5.** Процессы мембранного разделения.

Практические занятия № 1 – 2 «Расчет основных параметров мембранных процессов».

## **5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

В преподавании дисциплины «Мембраны и мембранные технологии» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- Интерактивная лекция (Разделы 1 (тема № 1), 2 (темы № 1 - 3), 3 (темы № 1 - 6), 4 (тема № 1), 5 (темы № 1 - 7));

- Групповая дискуссия (Раздел 1 (тема № 1), Раздел 3 (тема № 3), Раздел 5 (тема № 1 - 7)).

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

### **Вопросы для текущего контроля успеваемости**

1. Этапы развития мембранной технологии.
2. Определение мембраны. Мембранные процессы.
3. Полимеры. Гибкость цепи. Молекулярная масса. Межмолекулярное взаимодействие. Физическое состояние. Термическая и химическая стабильность. Механические свойства.
4. Растворы и расплавы полимеров.
5. Мембранные полимеры: пористые и непористые мембраны.
6. Полимерные электролиты. Полиэлектролитные комплексы. Мультислойные системы.
7. Биологические мембраны. Моделирование биологических мембран.



8. Неорганические мембраны. Мембраны из микропористого стекла. Металлические мембраны. Мембраны из керамики. Мембраны из графита.
9. Фазовое разделение в полимерных системах. Термодинамические аспекты. Механизм формирования мембраны.
10. Методы получения синтетических мембран: инверсия фаз. Влияние различных параметров на морфологию мембраны.
11. Методы получения синтетических мембран: композитные мембраны. Межфазная полимеризация. Нанесение при погружении. Плазменная полимеризация. Модификация плотных гомогенных мембран.
12. Методы получения синтетических мембран: трековые мембраны, полые волокна.
13. Методы получения синтетических мембран: электроспиннинг, 3D-принтирование.
14. Способы модификации мембран: физическая модификация, химическая модификация, ковалентная и нековалентная иммобилизация активных компонентов.
15. Методы определения структуры и свойств мембран. Общая пористость. Размер пор.
16. Определение характеристик мембран. Пористые мембраны. Микрофильтрация. Электронная микроскопия. Метод точки пузырька. Метод ртутной порометрии. Метод проницаемости.
17. Определение характеристик мембран. Пористые мембраны. Ультрафильтрация. Адсорбция и десорбция газов. Термопорометрия. Пермопорометрия. Методы калибровки.
18. Определение характеристик мембран. Непористые мембраны. Методы проницаемости и физические методы
19. Методы определения структуры и свойств мембран. Физико-механические характеристики мембран.
20. Методы определения структуры и свойств мембран. Технологические свойства мембран.
21. Транспорт в мембранах. Движущие силы. Неравновесная термодинамика.
22. Транспорт через мембраны. Непористые мембраны. Определение коэффициентов диффузии. Теория свободного объема. Растворимость. Транспорт индивидуальных жидкостей и смесей. Влияние кристалличности.
23. Транспорт через мембраны. Унифицированный подход. Обратный осмос и диализ.
24. Транспорт через мембраны. Унифицированный подход. Газоразделение.
25. Транспорт через мембраны. Унифицированный подход. Первапорация.
26. Транспорт в ионообменных мембранах.
27. Баромембранные процессы. Микрофильтрация. Транспорт. Мембраны. Применения.
28. Баромембранные процессы. Ультрафильтрация. Транспорт. Мембраны. Применения.
29. Баромембранные процессы. Нанофильтрация. Транспорт. Мембраны. Применения.
30. Баромембранные процессы. Обратный осмос. Транспорт. Мембраны. Применения.
31. Диффузионные мембранные процессы. Разделение газовых смесей. Транспорт. Мембраны. Применения.
32. Диффузионные мембранные процессы. Диализ. Транспорт. Мембраны. Применения.
33. Диффузионные мембранные процессы. Мембранная экстракция (жидкие мембраны). Транспорт. Мембраны. Применения.
34. Термомембранные процессы. Мембранная дистилляция. Транспорт. Мембраны. Применения.
35. Термомембранные процессы. Первапорация. Транспорт. Мембраны. Применения.
36. Электромембранные процессы. Электродиализ. Транспорт. Мембраны. Применения.

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

1. Мембранные материалы. Полимеры. Гибкость цепи. Молекулярная масса. Межмолекулярное взаимодействие. Физическое состояние. Термическая и химическая стабильность. Механические свойства. Растворы и расплавы полимеров.
2. Мембранные полимеры: пористые и непористые мембраны.
3. Полимерные электролиты. Полиэлектролитные комплексы. Мультислойные системы.
4. Биологические мембраны. Моделирование биологических мембран.
5. Неорганические мембраны. Мембраны из микропористого стекла. Металлические мембраны. Мембраны из керамики. Мембраны из графита.
6. Методы получения синтетических мембран: инверсия фаз.
7. Методы получения синтетических мембран: композитные мембраны.
8. Методы получения синтетических мембран: трековые мембраны.
9. Методы получения синтетических мембран: полые волокна.
10. Методы получения синтетических мембран: электроспиннинг.
11. Методы получения синтетических мембран: 3D-принтирование.
12. Способы модификации мембран: физическая модификация.
13. Способы модификации мембран: химическая модификация.
14. Способы модификации мембран: ковалентная и нековалентная иммобилизация активных компонентов.
15. Морфология мембраны: способы ее регулирования.
16. Методы определения структуры и свойств мембран. Общая пористость.
17. 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. Прикладная мембранная технология. Диафльтрация (на любом примере).



38. Прикладная мембранная технология. Мицеллярно-усиленная ультрафильтрация (на любом примере).
39. Применение мембранных процессов в биотехнологии.
40. Мембранные реакторы.
41. Применение мембранных процессов в медицине.
42. Мембранные процессы в водоподготовке и водоочистке.
43. Мембранные процессы и переработка промышленных отходов.
44. Использование мембран при получении сверхчистой воды.
45. Применение мембран при дегидратации этанола.
46. Мембраны в процессах нефтепереработки.
47. Использование мембран для извлечения паров органических веществ.
48. Мембранные технологии в процессах обессоливания морской воды.

### Самостоятельная работа обучающегося

#### Вопросы для проведения контроля самостоятельной работы:

1. Поляризационные явления и способы снижения их влияния.
2. Мембранная техника: мембранные элементы и установки.
3. Прикладная мембранная технология.
4. Применение мембранных процессов в биотехнологии.
5. Мембранные реакторы.
6. Применение мембранных процессов в медицине.
7. Мембранные процессы в водоподготовке и водоочистке.
8. Переработка промышленных отходов.
9. Сверхчистая вода.
10. Дегидратация этанола.
11. Мембраны в процессах нефтепереработки.
12. Извлечение паров органических веществ.
13. Обессоливание морской воды.

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

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

## 7. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, издательство	Год	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		печатные издания (кол-во)	электронные (наименование ресурсов)
1	2	3	4
Основная литература			
1. 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>
2. Фазылова Д. И. Мембранные процессы разделения.	2018		<a href="https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785788225289.html">https://www.studentlibrary.ru/ru/book/ISBN9785788225289.html</a>



Казань: КНИТУ.			
3. Болдырев А.А. Биомембранология. Новосибирск: СФУ.	2008		<a href="https://znanium.com/catalog/document?id=16916">https://znanium.com/catalog/document?id=16916</a>
Дополнительная литература			
1. Свитцов А.А. Введение в мембранные технологии. М.: ДеЛи принт.	2007		
2. Мулдер М. Введение в мембранную технологию. М.: Мир.	1999		
3. 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>
Интернет-ресурсы			
Информационный ресурс кафедры Мембранной технологии Российского Химико-Технологического Университета им. Д.И. Менделеева			<a href="http://www.membrane.msk.ru">http://www.membrane.msk.ru</a>
Библиотека химического факультета МГУ			<a href="http://www.chem.msu.su/rus">http://www.chem.msu.su/rus</a>
Издательство Elsevier			<a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>
Издательство ScienceDirect			<a href="http://www.sciencedirect.com">http://www.sciencedirect.com</a>
ABC-Chemistry: Directory of Free Full-Text Journals in Chemistry			<a href="http://www.abc.chemistry.bsu.by/current/fulltext.htm">http://www.abc.chemistry.bsu.by/current/fulltext.htm</a>
Российский химико-аналитический портал			<a href="http://www.anchem.ru/literature/">http://www.anchem.ru/literature/</a>
Журнал «Успехи химии»			<a href="http://www.uspkhim.ru/">http://www.uspkhim.ru/</a>
Журнал «Мембраны и мембранные технологии»			<a href="http://www.memtech.ru/index.php/ru/journal">http://www.memtech.ru/index.php/ru/journal</a>


## 7.2. Материально-техническое обеспечение учебного процесса

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для практических занятий и самостоятельной работы: 425-1, 433-1, 333-1.

Для проведения лекций, практических занятий и самостоятельной работы под руководством преподавателя используются аудитории, оснащенные компьютером (MS Windows, Google Chrome), мультимедийным проектором и доской.

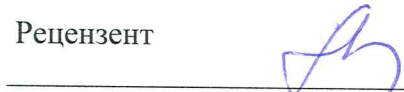
Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки.

Рабочую программу составил



д.х.н. профессор кафедры химии Смирнова Н.Н.

Рецензент



к.т.н. генеральный директор ООО «БМТ» Поворов А.А.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры химии

Протокол № 2 от 29.09 2021 года

Заведующий кафедрой /Смирнова Н.Н./

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии направления 04.06.01 Химические науки.

Протокол № 2 от 29.09 2021 года

Председатель комиссии /Смирнова Н.Н./

(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 \_\_\_\_\_

