

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Мембранные процессы разделения в экологии»**

**Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа – «Инжиниринг мембранного разделения»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена

к.т.н., доцент кафедры мембранной технологии А.А. Свитцов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры мембранной технологии  
«30» апреля 2025 г., протокол № 9

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **мембранной технологи** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина «**Мембранные процессы разделения в экологии**» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений части учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области мембранных и традиционных процессов разделения смесей, промышленной экологии.

**Цель дисциплины** – получение студентами современных знаний о принципах работы мембранных процессов разделения и их применении для решения экологических задач, включая очистку и опреснение воды, переработку промышленных стоков.

**Задачи дисциплины** – научить студентов разрабатывать современные, конкурентоспособные технологии для очистки и разделения жидких сред – сточных вод промышленных производств; оценивать экологическую и экономическую эффективность мембранных технологий в сравнении с традиционными методами очистки; формирование навыков проектирования мембранных установок и технологических схем.

Дисциплина «**Мембранные процессы разделения в экологии**» преподается во 2 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения**:

### Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	- Химическое, химико-технологическое производство  - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК – 5 Способен разрабатывать комплексный научно-технический подход к созданию инновационных решений в области профессиональной деятельности	ПК-5.1 Знает научные, технико-экономические и нормативные аспекты применения процессов разделения смесей	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемых к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 № 121 н, Обобщенная трудовая функция С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.
			ПК-5.2 Умеет на основе научных исследований создавать модели и проектные решения в области мембранной технологии	
			ПК-5.3 Владеет методологией и методиками разработки, анализа и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности	

				С /02.6. Управление результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (уровень квалификации – 6)
--	--	--	--	--

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- Основные виды загрязнений промышленных сточных вод и методы их обработки;
- Экологические и экономические аспекты применения мембранных процессов;
- Классификацию мембранных процессов, их свойства и области применения.

*Уметь:*

- Выбирать и обосновывать применение мембранных процессов для решения экологических задач;
- Рассчитывать параметры и характеристики мембранных систем, оценивать их эффективность;
- Проводить физико-химический анализ промышленных сточных вод.

*Владеть:*

- Навыками проектирования и оптимизации мембранных систем для очистки промышленных сточных вод;
- Навыками работы с нормативно-технической документацией;
- Методами диагностики загрязнения мембран и выбора способов их очистки.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>4</b>	<b>144</b>	<b>108</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,42</b>	<b>51</b>	<b>38,25</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	<b>1,42</b>	<b>51</b>	<b>38,25</b>
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0,94	34	25,5
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>1,58</b>	<b>57</b>	<b>42,75</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	1,58	57	42,75
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>экзамен</b>		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лекции	Прак. зан.	Сам. работа
1.	Раздел 1. Общая характеристика сточных вод промышленных предприятий	14	2	2	8
2.	Раздел 2. Обращение с различными видами загрязнений	37	6	6	19
3.	Раздел 3. Нормативное обеспечение разработки очистных сооружений	26	4	2	14
4.	Раздел 4. Разработка комплексных решений	31	5	24	16
	ИТОГО	108	17	34	57
	Экзамен	36			
	ИТОГО	144			

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Общая характеристика сточных вод промышленных предприятий**

Объем стоков различных отраслей.

Характер загрязнений по отраслям.

Перечень типов загрязнений (обозначения, размерности, токсичность, методы анализа, химическая природа, формы существования и т.д.).

Возможные способы утилизации каждого типа (уничтожение, захоронение, превращение, повторное использование, вторичное сырье).

### **Раздел 2. Обращение с различными видами загрязнений**

Природа и фракционный состав загрязнений (минеральные и органические, микроорганизмы, внутренняя структура, взаимодействия со средой и поверхностями, способы измерения размера частиц, способы измерения заряда частиц, коллоиды, взвеси, суспензии).

Технологии выделения суспендированных загрязнений (отстаивание, центробежная сепарация, фильтрование, флотация, коагуляция, флокуляция, химическое и электрохимическое обеззараживание).

Технические средства выделения (решетки, сетки, сита, фильтры, песколовки, отстойники, флотаторы, сепараторы, гидроциклоны, обеззараживатели термические и ультрафиолетовые). Обращение с эмульгированными загрязнениями.

Природа, образование, устойчивость эмульсий (химический состав, размеры капель, способы измерения, коалесценция, взаимодействие с поверхностями, замасливание).

Технологии выделения эмульгированных загрязнений (расслоение, центробежная сепарация, флотация, стабилизация капель, фильтрация).

Технические средства выделения (нефтеловушки, жироловки, сепараторы, коалесцирующие фильтры).

Физико-химические основы растворения газов (взаимодействие с водой, зависимости от внешних параметров).

Технологии и устройства дегазации (воздействие температурой, давлением, продувка инертным газом, химическое связывание).

Физико-химические основы растворения (диссоциация, гидратация, влияние температуры, влияние кислотности среды, произведение растворимости, принципы кристаллизации).

Технологии выделения неорганических загрязнений (ионообменная адсорбция, экстракция, дистилляция, реагентная кристаллизация).

Технические средства выделения (адсорберы, экстракторы, выпарные аппараты, дозаторы, смесители).

Физико-химические основы растворения (органические электролиты, полиэлектролиты, гидратация полярных молекул, насыщение и неограниченное смешения).

Технологии выделения органических загрязнений (молекулярная адсорбция, экстракция, ректификация, окисление, биологическая очистка, электроокисление).

Технические средства выделения (адсорберы, экстракторы, ректификационные колонны, озонаторы, окислительные реакторы, аэраторы).

### **Раздел 3. Нормативное обеспечение разработки очистных сооружений**

Нормы сброса очищенной воды (в водоемы, на грунт, в подземные водоносные слои, в канализацию, возврат в производство).

Нормативы на утилизацию концентратов загрязнений и вторичных загрязнений (захоронение, сдача в промтоходы, хранение на промышленной площадке, длительное хранение в кондиционированном состоянии, хранение в прудах, использование как сырьевого ресурса).

Тарификация сбросов очищенной воды и концентратов.

### **Раздел 4. Разработка комплексных решений**



Возможности мембранных процессов разделения в технологиях переработки промышленных стоков (микрофильтрация для выделения коллоидных и взвешенных загрязнений, ультрафильтрация для выделения растворенных высокомолекулярных соединений (ВМС), нанофильтрация и обратный осмос – для очистки от минеральных компонентов, электродиализ – для выделения электролитов и получения кислот и щелочей, мембранный биореактор для усовершенствования биоочистки, реагентно-мембранное разделение для селективного выделения загрязнений).

Ограничения при использовании мембран (фоулинг, концентрационная поляризация, химическая и микробная деградация мембран, пределы концентрирования загрязнений).

Технологические решения для снятия ограничений (предварительное осветление стоков, дегазация, стерилизация, введение ингибиторов, нормирование кислотности, окисление органики, обезжелезивание, умягчение).

Варианты технологических сочетаний (фильтрация-мембранные процессы, коагуляция – отстаивание – мембранные процессы, окисление органики – мембранные процессы, фильтрация – микрофильтрация – ОО, ОО – ЭД, ОО – выпаривание концентрата, обезжелезивание – ОО).

Обессоливание и концентрирование (ОО, ЭД, МД).

Выведение органических загрязнений (УФ, ПВ).

Выведение коллоидных загрязнений (МФ).

Выведение целевых компонентов (РМР, ЭДБМ).

Иные преимущества мембранного разделения (оборудование, надежность, стоимость).

Разработка технологической концепции решения.

Изучение гидравлической схемы производства (ввод, слияние, разделение, вывод потоков по технологической схеме; определение полного химического и дисперсного состава стоков; определение точек поступления каждого компонента в воду).

Выявление возможностей исключения потоков с целью их локальной очистки (определение возможностей исключения поступления каждого компонента в воду; определение химического состава каждого разделенного потока; определение возможностей возврата очищенной воды и компонентов на производство с учетом требований в возвратной воде и к возвратным компонентам).

Разработка технологий переработки (очистки) каждого разделенного потока (определение качества очищенной воды и получаемых компонентов; решение вопросов о дальнейшем обращении с очищенной водой (сброс в канализацию, сброс в водоемы, перекачивание другим производителям); решение вопросов о дальнейшей утилизации концентратов (передача в промотходы, захоронение, сброс в отстойники, концентрирование, реализация другим пользователям).

Разработка технического проекта и технико-экономического обоснования (расчет материального баланса, подбор рекомендуемого оборудования, обоснование требований нормативов НДТ, этапы согласования технического проекта в контролирующими органами, расчет капитальных и эксплуатационных затрат).

Примеры реализации мембранных процессов в очистных сооружениях.

Переработка стоков гальваники.

Переработка радиоактивных стоков АЭС.

Очистка стоков фармацевтических предприятий.

Переработка стоков предприятий пищевой отрасли.

Очистка стоков текстильной промышленности.

Очистка стоков нефтепереработки.

Переработка стоков прачечных.

Очистка ливневых стоков.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	<b>Знать: (перечень из п.2)</b>				
1	Основные виды загрязнений промышленных сточных вод и методы их обработки;	+	+		
2	Экологические и экономические аспекты применения мембранных процессов;			+	+
3	Классификацию мембранных процессов, их свойства и области применения;		+		+
	<b>Уметь: (перечень из п.2)</b>				
4	Выбирать и обосновывать применение мембранных процессов для решения экологических задач;		+	+	+
5	Рассчитывать параметры и характеристики мембранных систем, оценивать их эффективность;			+	+
6	Проводить физико-химический анализ промышленных сточных вод.	+	+		
	<b>Владеть: (перечень из п.2)</b>				
7	Навыками проектирования и оптимизации мембранных систем для очистки промышленных сточных вод;	+	+	+	+
8	Навыками работы с нормативно-технической документацией;			+	+
9	Методами диагностики загрязнения мембран и выбора способов их очистки.				+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <b>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения: (перечень из п.2)</b>					
	<b>Код и наименование ПК (перечень из п.2)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)</b>			
10	ПК – 5 Способен разрабатывать комплексный научно-технический подход к созданию инновационных решений в области профессиональной деятельности	ПК-5.1 Знает научные, технико-экономические и нормативные аспекты применения процессов разделения смесей	+	+	+
		ПК-5.2 Умеет на основе научных исследований создавать модели и проектные решения в области мембранной технологии			+
		ПК-5.3 Владеет методологией и методиками разработки, анализа и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности			+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Общая характеристика сточных вод промышленных предприятий	2
2	2	Обращение с суспендированными и эмульгированными загрязнениями	2
3	2	Обращение с растворенными газами и неорганическими загрязнителями	2
4	2	Обращение с растворенными органическими загрязнениями	2
5	3	Нормативное обеспечение разработки очистных сооружений	2
6	4	Потенциальные возможности мембранных процессов разделения. Обессоливание и концентрирование, выведение органических загрязнений	4
7	4	Потенциальные возможности мембранных процессов разделения. Выведение коллоидных загрязнений, выведение целевых компонентов	4
8	4	Изучение гидравлической схемы производства	2
9	4	Выявление возможностей исключения потоков с целью их локальной очистки	2
10	4	Примеры реализации мембранных процессов в очистных сооружениях. Переработка стоков гальваники.	2
11	4	Примеры реализации мембранных процессов в очистных сооружениях. Очистка стоков фармацевтических предприятий.	2
12	4	Примеры реализации мембранных процессов в очистных сооружениях. Переработка стоков предприятий пищевой отрасли.	2
13	4	Примеры реализации мембранных процессов в очистных сооружениях. Очистка стоков текстильной промышленности и прачечных.	2
14	4	Примеры реализации мембранных процессов в очистных сооружениях. Очистка стоков нефтепереработки.	2
15	4	Примеры реализации мембранных процессов в очистных сооружениях. Очистка ливневых стоков.	2

### 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторный практикум по дисциплине «Мембранные процессы разделения в экологии» Учебным планом не предусмотрен.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче **экзамена** (2 семестр) по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов), и итогового контроля в форме **экзамена** (максимальная оценка 40 баллов).

### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 3 контрольных работы. Максимальная оценка за контрольные работы 1, 2 и 3 (2 семестр) составляет 20 баллов за каждую.

#### Контрольные работы

##### Контрольная № 1.

1. Какие отрасли промышленности производят наибольший объем сточных вод?
2. Как классифицируются загрязнения сточных вод по отраслям?
3. Какие параметры определяют токсичность загрязнений?
4. Какие методы используются для анализа химического состава стоков?
5. Какие существуют методы утилизации сточных вод?
6. Как влияет характер производственного процесса на состав сточных вод?
7. Какие параметры воды определяют степень загрязненности?
8. Как классифицируются методы обработки сточных вод по уровню очистки?
9. Какие факторы влияют на выбор технологии утилизации стоков?
10. Почему повторное использование сточных вод становится важным в современных технологиях?
11. В чем различие между взвесьями и суспензиями?
12. Какие методы применяются для измерения размера частиц в сточных водах?
13. Назовите основные технологии удаления суспендированных загрязнений.
14. Как работают отстойники и песколовки?
15. Чем различаются коагуляция и флокуляция?

##### Контрольная № 2.

1. Как температура влияет на растворимость газов?
2. Какие методы дегазации применяются для очистки воды?
3. Чем продувка инертным газом отличается от химического связывания газов?

4. Как определяется концентрация растворенного кислорода?
5. В чем особенности работы дегазаторов?
6. Какие газы чаще всего присутствуют в промышленных сточных водах?
7. Как давление влияет на скорость растворения газа в воде?
8. Почему важна дегазация воды перед ее использованием в технологических процессах?
9. Какой метод дегазации является наиболее энергоэффективным?
10. Какие проблемы могут возникать при избытке растворенного кислорода в воде?
11. Что такое произведение растворимости?
12. Какие процессы влияют на кристаллизацию солей в воде?
13. Назовите методы выделения неорганических загрязнителей.
14. Как работает ионообменная адсорбция?
15. Для чего применяются выпарные аппараты?

### **Контрольная № 3.**

1. Какие инновационные решения применяются для предотвращения флуинга?
2. Какие нормы регулируют сброс воды в природные водоемы?
3. Какие существуют подходы к утилизации концентратов?
4. Как рассчитывается тариф на сброс сточных вод?
5. Какие нормативы используются для хранения отходов на площадках?
6. Чем отличается сброс в канализацию от возврата воды в производство?
7. Какие международные стандарты регулируют качество очищенной воды?
8. Какие требования предъявляются к безопасности утилизации концентратов?
9. Как нормируется уровень загрязненности для сбросов в грунтовые воды?
10. Почему важно учитывать местные условия при разработке очистных сооружений?
11. Какие экономические факторы учитываются при тарификации очистки сточных вод?
12. Какие технологии применяются для концентрирования растворов?
16. Как ультрафильтрация используется для удаления коллоидов?
14. Какие процессы используются для выделения целевых компонентов?
15. Назовите преимущества мембранных процессов перед традиционными.

### **8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (2 семестр – экзамен).**

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит 2 вопроса. 1 вопрос – 20 баллов, вопрос 2 – 20 баллов.

1. Охарактеризуйте объемы и состав сточных вод различных отраслей промышленности.
2. Опишите технологии выделения суспендированных загрязнений, такие как флотация, коагуляция и фильтрация.
3. Какие виды загрязнений встречаются в промышленных сточных водах, и как они классифицируются по химической природе?
4. Расскажите о природе и устойчивости эмульсий, а также методах их разрушения.
5. Перечислите методы анализа токсичности промышленных стоков и их химического состава.
6. Какие технологии применяются для удаления растворенных газов из сточных вод?
7. Какие существуют формы загрязнений в сточных водах (взвешенные, растворенные, эмульгированные), и чем они различаются?
8. Охарактеризуйте физико-химические основы растворения газов в воде и влияние внешних параметров.
9. Опишите подходы к утилизации различных типов загрязнений сточных вод (захоронение, превращение, повторное использование).

10. Какие устройства применяются для удаления суспендированных загрязнений (решетки, гидроциклоны, фильтры), и как они работают?
11. Расскажите о природе и составе суспендированных загрязнений, включая органические и минеральные примеси.
12. Какие технологии используются для удаления эмульгированных загрязнений, и в чем их особенности?
13. Как температура, кислотность среды и концентрация солей влияют на растворимость неорганических веществ?
14. Объясните принципы работы мембранных процессов, таких как обратный осмос и ультрафильтрация.
15. Какие методы используются для реагентной кристаллизации и ионообменной адсорбции?

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

### 8.3. Структура и примеры билетов для экзамена (2 семестр).

**Экзамен** по дисциплине «Мембранные процессы разделения в экологии» проводится во 2 семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для **экзамена** состоит из 2 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для **экзамена**:

<p><b>«Утверждаю»</b></p> <p>_____</p> <p>(Должность, наименование кафедры)</p> <p>_____ (Подпись)      _____ (И. О. Фамилия)</p> <p>«__» _____ 20__ г.</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра мембранной технологии</b>
	<b>18.04.01 Химическая технология</b>
	<b>Магистерская программа – «Инжиниринг мембранного разделения»</b>
<b>Мембранные процессы разделения в экологии</b>	
<b>Билет № 1</b>	
1. Охарактеризуйте объемы и состав сточных вод различных отраслей промышленности.	
2. Предложите методы очистки сточных вод от нефтепродуктов.	

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Каграманов, Г. Г. Диффузионные мембранные процессы. Диализ: учебные пособия / Г. Г. Каграманов, Е. Н. Фарносова. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. - 112 с.
2. Свитцов А. А. Мембранное разделение смесей. Проектирование и расчет: учебное пособие / А. А. Свитцов. - М.: ДЕЛИ, 2021. - 208 с.
3. Орлов Н. С. Промышленное применение мембранных процессов : учебное пособие - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. - 111 с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. – М., ДеЛи принт., 2007, - 207с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г.С. Борисов , В.П. Брыков , Ю.И. Дытнерский и др.; Ред. Ю.И. Дытнерский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Химия, 1991. - 496 с
3. Фазылова Д. И., Шишкина Н. Н., Яруллин Р. С., Кияненко Е. А. Мембранные процессы разделения: учебное пособие. - Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018. – 112 с.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение» ISSN 2072-2710
- Журнал «Химическая Промышленность сегодня» ISSN 0023-110X
- Журнал «Fibers» ISSN 2079-6439
- Журнал «Мембраны и мембранные технологии» ISSN 2218-1172

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <http://www.membrane.msk.ru>
- <http://www.sciencedirect.com>
- <https://ru.espacenet.com/>
- <https://www.elsevier.com/>

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине «*Мембранные процессы разделения в экологии*» проводятся в форме лекционных, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### 11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

Если необходима наглядная демонстрация каких-либо материалов, то для семинарских занятий используются электронные средства демонстрации, имеющиеся на кафедре: компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран, наглядные образцы мембран, модулей на их основе и оборудования.

### 11.2. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Для освоения дисциплины используются следующие печатные и электронные информационные ресурсы:

- учебники и учебные пособия по основным разделам дисциплины;
- учебно-методические разработки кафедры в печатном и электронном виде;
- электронные презентации к разделам лекционных дисциплин.

### 11.3. Перечень лицензионного программного обеспечения:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Office Standard 2019 В составе: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Word</li> <li>• Excel</li> <li>• Power Point</li> <li>• Outlook</li> </ul>	Контракт №175-262ЭА/2019 от 30.12.2019	150 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)



## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> <b>Общая характеристика сточных вод промышленных предприятий</b>	<i>Знает:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Основные виды загрязнений промышленных сточных вод и методы их обработки;</li> </ul> <i>Умеет:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Проводить физико-химический анализ промышленных сточных вод;</li> </ul> <i>Владеет:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками проектирования и оптимизации мембранных систем для очистки промышленных сточных вод.</li> </ul>	Оценка за контрольную работу Оценка за <i>экзамен</i>
<b>Раздел 2.</b> <b>Обращение с различными видами загрязнений</b>	<i>Знает:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Основные виды загрязнений промышленных сточных вод и методы их обработки;</li> <li>– Классификацию мембранных процессов, их свойства и области применения;</li> </ul> <i>Умеет:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбирать и обосновывать применение мембранных процессов для решения экологических задач;</li> <li>– Проводить физико-химический анализ промышленных сточных вод;</li> </ul> <i>Владеет:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками проектирования и оптимизации мембранных систем для очистки промышленных сточных вод;</li> </ul>	Оценка за контрольную работу Оценка за <i>экзамен</i>
<b>Раздел 3.</b> <b>Наименование раздела</b>	<i>Знает:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Экологические и экономические аспекты применения мембранных процессов;</li> </ul> <i>Умеет:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбирать и обосновывать применение мембранных процессов для решения экологических задач;</li> <li>– Рассчитывать параметры и характеристики мембранных систем, оценивать их эффективность;</li> </ul> <i>Владеет:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками проектирования и оптимизации мембранных систем для очистки промышленных сточных вод;</li> <li>– Навыками работы с нормативно-технической документацией</li> </ul>	Оценка за контрольную работу Оценка за <i>экзамен</i>

<p><b>Раздел 4.</b> Наименование раздела</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Экологические и экономические аспекты применения мембранных процессов;</li> <li>– Классификацию мембранных процессов, их свойства и области применения;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выбирать и обосновывать применение мембранных процессов для решения экологических задач;</li> <li>– Рассчитывать параметры и характеристики мембранных систем, оценивать их эффективность;</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками проектирования и оптимизации мембранных систем для очистки промышленных сточных вод;</li> <li>– Навыками работы с нормативно-технической документацией;</li> <li>– Методами диагностики загрязнения мембран и выбора способов их очистки.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу Оценка за <i>экзамен</i></p>
--	--	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);

- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины**  
**«Мембранные процессы разделения в экологии»**

**основной образовательной программы**

18.04.01 Химическая технология  
код и наименование направления подготовки (специальности)

«Инжиниринг мембранного разделения»  
наименование ООП

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Мембранная технология в промышленности»**

**Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа – «Инжиниринг мембранного разделения»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена

Д.т.н., профессор, зав. кафедрой мембранной технологии Г.Г. Каграманов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры мембранной технологии  
«30» апреля 2025 г., протокол № 9

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **мембранной технологии** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина «**Мембранная технология в промышленности**» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений части дисциплин по выбору дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области мембранных и традиционных процессов разделения смесей.

**Цель дисциплины** – получение студентами современных знаний о разработке на основе сопряжения мембранных и традиционных процессов технологий подготовки чистых и особо чистых технологических сред в различных отраслях промышленности, а также реализации систем очистки и концентрирования сточных вод и отходящих газовых с целью рекуперации ценных компонентов и утилизации вредных примесей.

**Задачи дисциплины** – научить студентов разрабатывать современные, конкурентоспособные технологии для очистки и разделения газовых и жидких сред различного происхождения; использовать метод технико-экономической оптимизации процессов мембранного разделения.

Дисциплина «**Мембранная технология в промышленности**» преподается в 3 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения**:

### Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	- Химическое, химико-технологическое производство  - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК 4- Способен самостоятельно проводить научные исследования, связанные с применением мембранных методов разделения в технологиях различных продуктов, в энергетике и в экологии	ПК-4.1 Знает физико-химические основы процессов разделения жидких и газовых смесей принципы выбора и оптимизации параметров процессов	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 № 121 н, Обобщенная трудовая функция С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.
			ПК-4.2 Умеет анализировать и прогнозировать влияние параметров процессов, условий испытаний на результаты разделения и качество продуктов	
			ПК-4.3 Владеет техникой и методами осуществления научных исследований в области разделения смесей	



				С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
--	--	--	--	--

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- Специфические требования к качеству очистки жидких и газовых смесей в различных отраслях промышленности и свободно оперировать полным перечнем современных нормативных требований (ГОСТы, ОСТы, Фармакопейные статьи, GMP и другие литературные источники;
- Особенности применения изученных ранее в дисциплине «Технология воды» и в данной дисциплине методологических приемов при разработке технологического расчета комплексных систем очистки жидких и газовых смесей;
- Технологические и конструктивные приемы, направленные на расширение пределов осуществления процессов очистки, с целью повышения качества очистки целевых продуктов и достижения высоких концентраций утилизируемых вредных примесей.
- Типы и конструктивные особенности современного основного и вспомогательного оборудования, применяемого на стадиях очистки;
- Метод технико-экономической оптимизации процессов с учетом вариантов энергообеспечения на основе традиционных и возобновляемых энергоресурсов;
- Типовые технологические схемы комплексных систем очистки жидких и газовых смесей, применяемых в различных отраслях промышленности.

*Уметь:*

- Выбирать технологическую схему системы очистки;
- Выбирать основное оборудования, качество его исполнения, а также выбор и фильтровальных материалов для каждой стадии очистки;
- Рассчитать габариты оборудования, объемы загрузок зернистых фильтровальных материалов, а также требуемое количество фильтрующих (объемных) или мембранных элементов;
- Подбирать вспомогательное оборудования, трубопровод, арматуры, КиП и системы управления процессом очистки жидких и газовых смесей .
- Использовать методы исследования и определения параметров процессов разделения жидких и газовых смесей.
- Производить расчет себестоимости очищенных жидких и газовых смесей на основании капитальных и эксплуатационных затрат.

*Владеть:*

- Экспериментальными методами исследования свойств мембран: дефектоскопии, характеристик пористости, задерживающей способности (селективности) и удельной производительности мембран.
- Методами технологического расчета и технико-экономического анализа отдельных процессов и комплексных систем очистки жидких и газовых смесей для различных отраслей промышленности.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>6</b>	<b>216</b>	<b>162</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>2,34</b>	<b>85</b>	<b>63,75</b>
Лекции	0,47	17	12,75

Практические занятия (ПЗ)	1,89	68	51
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2,64</b>	<b>95</b>	<b>72</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	<b>2,64</b>	95	72
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>
Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>экзамен</b>		

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лек- ции	Прак. зан.	Сам. рабо- та
1.	Синтез технологических схем комплексных систем очистки (КСО) жидких и газовых смесей на основе мембранных процессов.	35	4	17	23
2.	Анализ вариантов комплексных систем подготовки чистых технологических сред на основе жидкофазных мембранных процессов	35	4	17	24
3.	Анализ вариантов комплексных систем очистки промышленных сточных вод на основе жидкофазных мембранных процессов	39	5	17	24
4.	Анализ вариантов комплексных систем подготовки чистых технологических сред на основе газофазных мембранных процессов	35	4	17	24
	<b>ИТОГО</b>	<b>180</b>	<b>17</b>	<b>68</b>	<b>95</b>
	<b>Экзамен</b>	<b>36</b>			
	<b>ИТОГО</b>	<b>216</b>	<b>17</b>	<b>68</b>	<b>95</b>

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

### **Раздел 1. Синтез технологических схем комплексных систем очистки (КСО) жидких и газовых смесей на основе мембранных процессов.**

Задача синтеза КСО, направленная на определение минимального потребления энергии системой и поиск оптимальных условий проведения составляющих систему отдельных процессов.

Ограничения, обусловленные широким спектром свойств примесей, при устранении двух типов неопределенностей- топологии, т.е. очередности отдельных процессов в системе очистки и конечных состояний потоков, которые реализуются на выходе из системы на основе информационно-термодинамического принципа системного анализа .

При заданных конечных состояниях потоков (нормативные требования соответствующих сфер применения - ГОСТы, ОСТы, Фармакопейные статьи, GMP и др.) задача синтеза КСО сводится к решению проблемы топологии.

Технико-экономические и экологические критерии – внешние управляющие параметры синтеза КСО, сопряженной с технологической и экологической «нишами».

Например, обеспечение продолжительного ресурса, обусловленного критерием надежности, требует знания пределов осуществления каждого отдельного процесса (ограничения характеристик разделения), рациональной их очередности, обусловленной природой и концентрациями извлекаемых компонентов.

Необходимость утилизации вредных примесей, обусловленная экологическим критерием «все должно куда-то деваться», требует обеспечения высоких степеней разделения смесей за счет большой доли отбора извлекаемого компонента с высокой степенью очистки от примесей. Реализация приведенного режима разделения базируется на основе секционирования аппаратов в соответствии с одним из вариантов (секция – ступень - каскад).

Последний фактор требует учета меняющихся (от аппарата к аппарату) технологических параметров при использовании метода технико-экономической оптимизации.

Во второй части дисциплины магистры изучают и анализируют особенности комплексных систем очистки жидких и газовых технологических сред, обусловленные конкретными сферами применения.

### **Раздел 2. Анализ вариантов комплексных систем подготовки чистых технологических сред на основе жидкофазных мембранных процессов**

Системы подготовки особо чистых технологических сред для медицины и фармацевтики:

Методы внепочечного очищения крови, основанные на применении мембранных процессов: диализ, пьезодиализ, ультрадиффузия, гемофильтрация (плазмозферез), гемодиализация.

Особенности технологии и аппаратного оформления. Аппарат искусственной почки.

Стационарные и мобильные системы водоподготовки, обеспечивающие качество воды в соответствии с ГОСТом «Вода для гемодиализа».

Системы очистки и концентрирования препаратов крови. Особенности технологии и аппаратного оформления.

Системы очистки и концентрирования растворов кровезаменителей. Особенности технологии и аппаратного оформления.

Системы подготовки, хранения и распределения «Воды очищенной» по ФС 2.2.0020.15 и «Воды для инъекций» по ФС 2.2.0019.15. Особенности технологии и аппаратного оформления.

Системы подготовки, хранения и распределения деионизованной воды для микроэлектроники и теплоэнергетики. Особенности технологии и аппаратного оформления.

Системы подготовки, хранения и распределения воды сбалансированного солевого состава для пищевой промышленности и питьевого водоснабжения.

Системы опреснения солоноватой и морской воды. Особенности технологии и аппаратного оформления. Расчет капитальных затрат и себестоимости пресной воды.

Очистка сточных вод.

Системы очистки и регенерация сточных вод (на примерах) красильных и отделочных производств тонкосуконных комбинатов (ТСК). Расчет капитальных затрат и себестоимости воды, возвращаемой в производство.

Системы очистки и регенерация сточных вод гальванических производств. Нормативные требования к качеству сточных вод. Особенности технологии и аппаратного оформления.

Системы очистки и регенерация сточных вод фармацевтических предприятий. Нормативные требования к качеству сточных вод. Особенности технологии и аппаратного оформления.

Система очистки низко активных жидких радиоактивных отходов (ЖРО) на основе мембранных процессов. Особенности технологии и аппаратного оформления.

### **Раздел 3. Анализ вариантов комплексных систем очистки промышленных сточных вод на основе жидкофазных мембранных процессов**

Общие требования к системам очистки сточных вод Проектирование - разделы ТХ (технология), АС (архитектура и строительство) ВК (водоснабжение и канализация). Аттестация проекта. Системы водоподведения и водоотведения. Тарифы региональных водоканалов за отводимую условно чистую воду, содержание и концентрации примесей, штрафные санкции за превышение ПДК. Тарифы и перечень отходов, принимаемых полигонами для хранения и утилизации. Требования к качеству очистки сточных вод, отводимых в водоемы рыбо-хозяйственного назначения.

Технологические и аппаратные решения, направленные на обеспечение возможности рекуперации воды и утилизации примесей за счет сопряжения физико-химических и биологических методов очистки сточных вод. Мембранные биореакторы, конструктивное оформление, используемые мембраны, режимы эксплуатации.

Анализ состояния проблемы очистки сточных вод текстильных предприятий и предложений по разработке технологии очистки на основе мембранных процессов на примере красильных и отделочных производств тонкосуконных комбинатов (ТСК). Требования к качеству воды используемой в технологическом процессе. Состав и концентрации примесей, содержащихся в сточных водах. Анализ возможности рекуперации деминерализованной воды с высокой долей отбора. Методы решения проблемы утилизации отработанных красителей на основе биологической очистки с использованием мембранных биореакторов.

Расчет, проектирование и аппаратное оформление систем очистки ливневых сточных вод.

Разработка и практическая реализация систем очистки производственных и ливневых сточных вод на примере двух фармацевтических предприятий по производству твердых лекарственных форм. Технологическая схема и аппаратное оформление.

Система очистки низко активных жидких радиоактивных отходов (ЖРО) на основе мембранных процессов. Разработка технологии и аппаратное оформление двухступенчатой обратноосмотической установки, обеспечивающей рекуперацию около 97% деминерализованной воды и концентрирование примерно в 40 раз радиоактивных загрязнений.

### **Раздел 4. Анализ вариантов комплексных систем подготовки чистых технологических сред на основе газофазных мембранных процессов**

Системы осушки и очистки природного и попутного нефтяного газов от серосодержащих соединений и  $\text{CO}_2$  на основе мембранных и сорбционных процессов.

Нормативные требования к составу подготовленных газовых смесей.

Особенности технологии и аппаратного оформления

Системы подготовки и попутного нефтяного и шахтного газов до требований топочного газа.

Нормативные требования к составу подготовленных газовых смесей.

Особенности технологии и аппаратного оформления

Системы подготовки регулируемой газовой среды в помещениях, предназначенных для хранения овощей, фруктов, музейных экспонатов, а также для лечения и тренировок.

Нормативные требования к составу подготовленных газовых смесей. Особенности технологии и аппаратного оформления

Системы подготовки регулируемой газовой среды, используемой в качестве пожаро-взрывобезопасной защитной подушки топливных баков автозаправочных станций и танкеров. Нормативные требования к составу подготовленных газовых смесей. Особенности технологии и аппаратного оформления

Системы разделения воздуха с получением в качестве целевого потока, обогащенного кислородом и/или азотом потока. Нормативные требования к составу подготовленных газовых смесей. Особенности технологии и аппаратного оформления.

Системы выделения гелия из природного газа. Нормативные требования к составу подготовленных газовых смесей. Особенности технологии и аппаратного оформления.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3	Раздел 4
	<b>Знать: (перечень из п.2)</b>				
1	– Специфические требования к качеству очистки жидких и газовых смесей в различных отраслях промышленности и свободно оперировать полным перечнем современных нормативных требований (ГОСТы, ОСТы, Фармакопейные статьи, GMP и другие литературные источники;	+	+	+	+
2	– Особенности применения изученных ранее в дисциплине «Технология воды» и в данной дисциплине методологических приемов при разработке технологического расчета комплексных систем очистки жидких и газовых смесей;	+	+	+	+
3	– Технологические и конструктивные приемы, направленные на расширение пределов осуществления процессов очистки, с целью повышения качества очистки целевых продуктов и достижения высоких концентраций утилизируемых вредных примесей.	+	+	+	+
4	– Типы и конструктивные особенности современного основного и вспомогательного оборудования, применяемого на стадиях очистки;		+	+	+
5	– Метод технико-экономической оптимизации процессов с учетом вариантов энергообеспечения на основе традиционных и возобновляемых энергоресурсов ;		+		+
6	– Типовые технологические схемы комплексных систем очистки жидких и газовых смесей, применяемых в различных отраслях промышленности.	+	+	+	+
	<b>Уметь: (перечень из п.2)</b>				
7	– Выбирать технологическую схему системы очистки;	+	+	+	+
8	– Выбирать основное оборудования, качество его исполнения, а также выбор и фильтровальных материалов для каждой стадии очистки;	+	+	+	+
9	– рассчитать габариты оборудования, объемы загрузок зернистых фильтровальных материалов, а также требуемое количество фильтрующих (объемных) или мембранных элементов;	+	+	+	+
10	– Выбирать основное оборудования, качество его исполнения, а также выбор и фильтровальных материалов для каждой стадии очистки.	+	+	+	+
11	– Использовать методы исследования и определения параметров процессов разделения жидких и газовых смесей .	+	+	+	+



12	– Производить расчет себестоимости очищенных жидких и газовых смесей на основании капитальных и эксплуатационных затрат.	+	+	+	+
	<b>Владеть: (перечень из п.2)</b>				
13	– Экспериментальными методами исследования:		+	+	+
14	– Дефектоскопии, характеристик пористости, задерживающей способности (селективности) и удельной производительности мембран,	+			+
15	– Методами технологического расчета и технико-экономического анализа отдельных процессов и комплексных систем очистки жидких и газовых смесей для различных отраслей промышленности.	+	+	+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <b>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения: (перечень из п.2)</b>					
	<b>Код и наименование ПК (перечень из п.2)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)</b>			
16	ПК 4- Способен самостоятельно проводить научные исследования, связанные с применением мембранных методов разделения в технологиях различных продуктов, в энергетике и в экологии	ПК-4.1 Знает физико-химические основы процессов разделения жидких и газовых смесей принципы выбора и оптимизации параметров процессов	+		
		ПК-4.2 Умеет анализировать и прогнозировать влияние параметров процессов, условий испытаний на результаты разделения и качество продуктов		+	+
		ПК-4.3 Владеет техникой и методами осуществления научных исследований в области разделения смесей	+		

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Практическое занятие 1. . Синтез технологических схем комплексных систем очистки (КСО) жидких и газовых смесей на основе мембранных процессов.	3
2	1	Практическое занятие 2. Алгоритм синтеза, начальные и конечные состояния очищаемых сред на отдельных стадиях очистки и концентрирования.	3
3	1	Практическое занятие 3. Требования к качеству очистки, нормативная документация отражающая специфику сфер применения	3
4	1	Практическое занятие 4. Обоснование выбора методов очистки жидких и газовых смесей и их последовательности	3
5	1	Практическое занятие 5. Обоснование доли отбора целевого продукта в ступени мембранного разделения в зависимости от начального и конечного состояний разделяемой смеси.	3
6	1	Практическое занятие 6. Обеспечение требований по п.5. за счет структурной организации (секция, ступень, каскад) стадии мембранного разделения.	3
7	2	Практическое занятие 1. Синтез технологических схем комплексных систем водоподготовки для пищевой промышленности на основе мембранных процессов.	3
8	2	Практическое занятие 2. Синтез технологических схем систем опреснения морской воды.	3
9	2	Практическое занятие 3. Расчет себестоимости опреснённой воды на основе обратного осмоса и многостадийной флеш-дистилляции	3
10	2	Практическое занятие 4. Синтез технологических схем комплексных систем водоподготовки для Фармацевтики и микроэлектроники.	3
11	2	Практическое занятие 5. Расчет энергопотребления многоступенчатого дистиллятора, используемого на финиш-ной стадии подготовки воды для инъекций.	3
12	2	Практическое занятие 6. Расчет энергопотребления многоступенчатого дистиллятора, используемого на финишной стадии подготовки воды для инъекций.	3
13	2	Практическое занятие 7. Расчет оборудования и режимов эксплуатации систем хранения и распределения воды для инъекций.	3

14	3	Практическое занятие 1. Расчет и подбор блока питания системы электродеионизации, используемой в системах подготовки особо чистой воды для микроэлектроники.	3
15	3	Практическое занятие 2. Синтез технологической схемы очистки ливневых сточных вод. Подбор и расчет габаритов оборудования.	3
16	3	Практическое занятие 3. Синтез технологической схемы очистки производственных сточных вод на примере фармацевтического предприятия. Обоснование стадий очистки. Подбор и расчет габаритов оборудования.	3
17	3	Практическое занятие 4. Синтез технологической схемы биологической очистки производственных сточных вод фармацевтического предприятия с использованием мембранного биореактора. Обоснование стадий очистки. Подбор и расчет габаритов оборудования	4
18	4	Практическое занятие 1. Расчет объема резервуара для приема ливневых сточных вод с территории предприятия в зависимости от площади твердых покрытий и кровли.	4
19	4	Практическое занятие 2. Синтез технологической схемы биологической очистки производственных сточных вод фармацевтического предприятия с использованием мембранного биореактора. Обоснование стадий очистки. Подбор и расчет габаритов оборудования.	4
20	4	Практическое занятие 3. Анализ вариантов комплексных систем подготовки чистых технологических сред на основе газофазных мембранных процессов	4
21	4	Практическое занятие 4. Анализ вариантов комплексных систем очистки промышленных сточных вод на основе жидкофазных мембранных процессов	4

## 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторный практикум по дисциплине *«Мембранные процессы разделения в экологии»* Учебным планом не предусмотрен.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины *«Мембранная технология в промышленности»* предусмотрена самостоятельная работа студента магистратуры в объеме 57 часов в 3 семестре. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- регулярную проработку пройденного на лекциях и практических занятиях учебного материала и подготовку к выполнению контрольных работ по разделам дисциплины;

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, и работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение семинаров, конференций различного уровня по применению мембранных процессов для решения производственных и экологических проблем;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к сдаче экзамена по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов) и итогового контроля в форме *экзамена* (максимальная оценка 40 баллов).

### **8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 2 контрольных работы. Максимальная оценка за контрольные работы 1 и 1 (3 семестр) составляет 30 баллов за каждую.

#### **Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 15 баллов за вопрос.**

##### **Вопрос 1.1.**

1. Силы, обуславливающие адсорбцию.
2. Назовите составляющие общей энергии взаимодействия при адсорбции
3. Распределение сил над плоской поверхностью и в порах адсорбента.
4. Виды пор в адсорбентах.
5. Механизмы адсорбции в микро-, мезо- и макропорах

##### **Вопрос 1.2.**

1. Структура, характер поверхности и адсорбционные свойства активного оксида алюминия
2. Структура цеолитов и их адсорбционные свойства. Молекулярно-ситовые свойства, ионообменные свойства. Первичные и вторичные поры.
3. Основные уравнения для внешнEDIффузионной кинетики. Коэффициент внешней массоотдачи.
4. Виды переноса внутри гранул адсорбентов. Коэффициент внутренней массоотдачи по Глюкауфу.
5. Продольнодиффузионный массоперенос. Расчет эффективного коэффициента продольной массоотдачи по Тодесу-Биксону.

#### **Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2. Контрольная работа содержит 2 вопроса, по 15 баллов за вопрос.**

**Вопрос 2.1.**

1. Классификация адсорбционных процессов по назначению.
2. Классификация адсорбционных процессов по способу контакта адсорбционного слоя и очищаемого потока.
3. Методы регенерации адсорбентов. Достоинства и недостатки каждого из методов.
4. Классификация адсорбционных процессов по методам регенерации адсорбентов.
5. Области и условия применения адсорбционных процессов с однократно используемым адсорбентом

**Вопрос 2.2.**

1. Типы процессов с многократным использованием адсорбента.
  2. Дайте определения регенерации и реактивации. Назовите разграничения между ними по значению ПВс.
  3. Термическая регенерация адсорбента. Достоинства и недостатки метода.
  4. Снижение давления в системе, как метод регенерации адсорбента. Достоинства и недостатки метода.
- Вытеснительная десорбция, как метод регенерации адсорбента. В каких случаях целесообразно использование этого метода регенерации адсорбента?

**8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр - экзамен).**

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит 3 вопроса. 1 вопрос – 10 баллов, вопрос 2 – 15 баллов, вопрос 3 – 15 баллов.

1. Области применения процессов с термопродувочной регенерацией.
2. Углеродные адсорбенты: области применения в технологии неорганических веществ.
3. Применение силикагелей в технологии неорганических веществ.
4. Активный оксид алюминия и алюмогели в технологии неорганических веществ. Приведите примеры использования.
5. Природные и синтетические цеолиты в неорганической технологии. Приведите примеры использования.
6. Абсолютное и относительное влагосодержание газов: определения и единицы измерения.
7. Адсорбенты, применяемые в процессах осушки газов.
8. Технологические свойства промышленных адсорбентов-осушителей.
9. Изменения концентрации газа и активности адсорбента в начальной стадии процесса осушки (процесс с термопродувочной регенерацией адсорбента). Имитация циклов процесса по изотерме адсорбции.
10. Степень осушки. От чего зависит степень осушки газа в процессе TSA?

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы

**8.4. Структура и примеры билетов для экзамена (3 семестр).**

*Экзамен* по дисциплине «Мембранная технология в промышленности» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей

программы дисциплины. Билет для *экзамена* состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для *экзамена*:

<p>«Утверждаю» _____ (Должность, наименование кафедры)</p>	<p><b>Министерство науки и высшего образования РФ</b> <b>Российский химико-технологический университет</b> <b>имени Д.И. Менделеева</b></p>
<p>_____ (Подпись)      _____ (И. О. Фамилия)</p>	<p><b>Кафедра мембранной технологии</b></p>
<p>«__» _____ 20__ г.</p>	<p><b>18.04.01 Химическая технология</b> <b>Магистерская программа –</b> <b>«Инжиниринг мембранного разделения»</b></p>
<p><b>Мембранная технология в промышленности</b></p> <p><b>Билет № 1</b></p> <p>1. Равновесная адсорбция смесей. Коэффициент разделения, его зависимость от температуры, давления, свойств адсорбента.</p> <p>2. Соотношения между концентрационным и температурным фронтами в динамике адиабатической адсорбции.</p> <p>3. Достоинства и ограничения применения адсорбционных методов в процессах очистки газов от соединений серы.</p>	

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Каграманов, Г. Г. Диффузионные мембранные процессы. Диализ: учебные пособия / Г. Г. Каграманов, Е. Н. Фарносова. - М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. - 112 с.
2. Свитцов А. А. Мембранное разделение смесей. Проектирование и расчет: учебное пособие / А. А. Свитцов. - М.: ДЕЛИ, 2021. - 208 с.
3. Орлов Н. С. Промышленное применение мембранных процессов : учебное пособие - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. - 111 с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. – М., ДеЛи принт., 2007, - 207с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г.С. Борисов , В.П. Брыков , Ю.И. Дытнерский и др.; Ред. Ю.И. Дытнерский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Химия, 1991. - 496 с
3. Фазылова Д. И., Шишкина Н. Н., Яруллин Р. С., Кияненко Е. А. Мембранные процессы разделения: учебное пособие. - Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018. – 112 с.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение» ISSN 2072-2710
- Журнал «Химическая Промышленность сегодня» ISSN 0023-110X
- Журнал «Fibers» ISSN 2079-6439
- Журнал «Мембраны и мембранные технологии» ISSN 2218-1172

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <http://www.membrane.msk.ru>
- <http://www.sciencedirect.com>
- <https://ru.espacenet.com/>
- <https://www.elsevier.com/>

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные

периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Мембранная технология в промышленности»* проводятся в форме лекционных, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Если необходима наглядная демонстрация каких-либо материалов, то для семинарских занятий используются электронные средства демонстрации, имеющиеся на кафедре: компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран, наглядные образцы мембран, модулей на их основе и оборудования.

### **11.2. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Для освоения дисциплины используются следующие печатные и электронные информационные ресурсы:

- учебники и учебные пособия по основным разделам дисциплины;
- учебно-методические разработки кафедры в печатном и электронном виде;
- электронные презентации к разделам лекционных дисциплин.

### **11.3. Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Office Standard 2019 В составе: <ul style="list-style-type: none"><li>• Word</li><li>• Excel</li><li>• Power Point</li><li>• Outlook</li></ul>	Контракт №175-262ЭА/2019 от 30.12.2019	150 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)



## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование модулей	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
Раздел 1. Строение заряженных межфазных границ	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Специфические требования к качеству очистки жидких и газовых смесей в различных отраслях промышленности и свободно оперировать полным перечнем современных нормативных требований (ГОСТы, ОСТы, Фармакопейные статьи, GMP и другие литературные источники;</li> <li>- Особенности применения изученных ранее в дисциплине «Технология воды» и в данной дисциплине к методологическим приемам при разработке технологического расчета комплексных систем очистки жидких и газовых смесей;</li> <li>- Технологические и конструктивные приемы, направленные на расширение пределов осуществления процессов очистки, с целью повышения качества очистки целевых продуктов и достижения высоких концентраций утилизируемых вредных примесей.</li> <li>- Типовые технологические схемы комплексных систем очистки жидких и газовых смесей, применяемых в различных отраслях промышленности.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- нормативных требований к качеству продукта, обусловленных сферой применения, обосновать:</li> <li>- технологическую схему системы очистки;</li> <li>- выбор основного оборудования, качество его исполнения, а также выбор и фильтровальных материалов для каждой стадии очистки;</li> <li>- рассчитать габариты оборудования, объемы загрузок зернистых фильтровальных материалов, а также требуемое количество фильтрующих (объемных) или мембранных элементов;</li> <li>- подбор вспомогательного оборудования, трубопровод, арматуры, КИП и системы управления процессом</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу</p> <p>Оценка за экзамен</p>

	<p>очистки жидких и газовых смесей .</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Использовать методы исследования и определения параметров процессов разделения жидких и газовых смесей.</li> <li>- Произвести расчет себестоимости очищенных жидких и газовых смесей на основании капитальных и эксплуатационных затрат.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Дефектоскопии, характеристик пористости, задерживающей способности (селективности) и удельной производительности мембран,</li> <li>- Методами технологического расчета и технико-экономического анализа отдельных процессов и комплексных систем очистки жидких и газовых смесей для различных отраслей промышленности.</li> </ul>	
Раздел 2. Основы массопереноса в электрохимических системах	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Специфические требования к качеству очистки жидких и газовых смесей в различных отраслях промышленности и свободно оперировать полным перечнем современных нормативных требований (ГОСТы, ОСТы, Фармакопейные статьи, GMP и другие литературные источники;</li> <li>- Особенности применения изученных ранее в дисциплине «Технология воды» и в данной дисциплине методологических приемов при разработке технологического расчета комплексных систем очистки жидких и газовых смесей;</li> <li>- Технологические и конструктивные приемы, направленные на расширение пределов осуществления процессов очистки, с целью повышения качества очистки целевых продуктов и достижения высоких концентраций утилизируемых вредных примесей.</li> <li>- Типы и конструктивные особенности современного основного и вспомогательного оборудования, применяемого на стадиях очистки;</li> <li>- Метод технико-экономической оптимизации процессов с учетом вариантов энергообеспечения</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу</p> <p>Оценка за экзамен</p>

	<p>на основе традиционных и возобновляемых энергоресурсов;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Типовые технологические схемы комплексных систем очистки жидких и газовых смесей, применяемых в различных отраслях промышленности.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать технологическую схему системы очистки;</li> <li>- выбирать основное оборудования, качество его исполнения, а также выбор и фильтровальных материалов для каждой стадии очистки;</li> <li>- рассчитать габариты оборудования, объемы загрузок зернистых фильтровальных материалов, а также требуемое количество фильтрующих (объемных) или мембранных элементов;</li> <li>- подбирать вспомогательное оборудования, трубопровод, арматуры, КиП и системы управления процессом очистки жидких и газовых смесей.</li> <li>- Использовать методы исследования и определения параметров процессов разделения жидких и газовых смесей.</li> <li>- Производить расчет себестоимости очищенных жидких и газовых смесей на основании капитальных и эксплуатационных затрат.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Экспериментальными методами исследования;</li> <li>- Методами технологического расчета и технико-экономического анализа отдельных процессов и комплексных систем очистки жидких и газовых смесей для различных отраслей промышленности.</li> </ul>	
Раздел 3. Основы электрохимической кинетики и электрокатализа	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Специфические требования к качеству очистки жидких и газовых смесей в различных отраслях промышленности и свободно оперировать полным перечнем современных нормативных требований (ГОСТы, ОСТы, Фармакопейные статьи, GMP и другие литературные источники;</li> <li>- Особенности применения изученных ранее в дисциплине «Технология воды» и в данной</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу</p> <p>Оценка за экзамен</p>

	<p>дисциплине методологических приемов при разработке технологического расчета комплексных систем очистки жидких и газовых смесей;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Технологические и конструктивные приемы, направленные на расширение пределов осуществления процессов очистки, с целью повышения качества очистки целевых продуктов и достижения высоких концентраций утилизируемых вредных примесей.</li> <li>- Типы и конструктивные особенности современного основного и вспомогательного оборудования, применяемого на стадиях очистки;</li> <li>- Типовые технологические схемы комплексных систем очистки жидких и газовых смесей, применяемых в различных отраслях промышленности.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать технологическую схему системы очистки;</li> <li>- выбирать основное оборудования, качество его исполнения, а также выбор и фильтровальных материалов для каждой стадии очистки;</li> <li>- рассчитать габариты оборудования, объемы загрузок зернистых фильтровальных материалов, а также требуемое количество фильтрующих (объемных) или мембранных элементов;</li> <li>- подбирать вспомогательное оборудования, трубопровод, арматуры, КиП и системы управления процессом очистки жидких и газовых смесей.</li> <li>- Использовать методы исследования и определения параметров процессов разделения жидких и газовых смесей.</li> <li>- Производить расчет себестоимости очищенных жидких и газовых смесей на основании капитальных и эксплуатационных затрат.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Экспериментальными методами исследования;</li> <li>- Методами технологического расчета и технико-экономического анализа отдельных процессов и комплексных систем очистки жидких и газовых смесей для различных отраслей промышленности.</li> </ul>	
--	---	--

<p>Раздел 4. Современные представления о переносе заряда в конденсированных средах</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Специфические требования к качеству очистки жидких и газовых смесей в различных отраслях промышленности и свободно оперировать полным перечнем современных нормативных требований (ГОСТы, ОСТы, Фармакопейные статьи, GMP и другие литературные источники;</li> <li>- Особенности применения изученных ранее в дисциплине «Технология воды» и в данной дисциплине методологических приемов при разработке технологического расчета комплексных систем очистки жидких и газовых смесей;</li> <li>- Технологические и конструктивные приемы, направленные на расширение пределов осуществления процессов очистки, с целью повышения качества очистки целевых продуктов и достижения высоких концентраций утилизируемых вредных примесей.</li> <li>- Типы и конструктивные особенности современного основного и вспомогательного оборудования, применяемого на стадиях очистки;</li> <li>- Метод технико-экономической оптимизации процессов с учетом вариантов энергообеспечения на основе традиционных и возобновляемых энергоресурсов;</li> <li>- Типовые технологические схемы комплексных систем очистки жидких и газовых смесей, применяемых в различных отраслях промышленности.</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать технологическую схему системы очистки;</li> <li>- выбирать основное оборудования, качество его исполнения, а также выбор и фильтровальных материалов для каждой стадии очистки;</li> <li>- рассчитать габариты оборудования, объемы загрузок зернистых фильтровальных материалов, а также требуемое количество фильтрующих (объемных) или мембранных элементов;</li> <li>- подбирать вспомогательное оборудования, трубопровод , арматуры, КиП и системы управления процессом</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу Оценка за экзамен</p>
--	---	---

	<p>очистки жидких и газовых смесей .</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Использовать методы исследования и определения параметров процессов разделения жидких и газовых смесей.</li> <li>- Производить расчет себестоимости очищенных жидких и газовых смесей на основании капитальных и эксплуатационных затрат.</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Экспериментальными методами исследования:</li> <li>- Дефектоскопии, характеристик пористости, задерживающей способности (селективности) и удельной производительности мембран,</li> <li>- Методами технологического расчета и технико-экономического анализа отдельных процессов и комплексных систем очистки жидких и газовых смесей для различных отраслей промышленности.</li> </ul>	
--	--	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 05.04.2017 № 301);

- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины**  
**«Мембранная технология в промышленности»**

**основной образовательной программы**

18.04.01 Химическая технология  
код и наименование направления подготовки (специальности)

«Инжиниринг мембранного разделения»  
наименование ООП

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Мембранные контакторы»**

**Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа – «Инжиниринг мембранного разделения»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена

к.т.н., доцент кафедры мембранной технологии А.А. Свитцов

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры мембранной технологии  
«30» апреля 2025 г., протокол № 9

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **мембранной технологи** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина **«Мембранные контакторы»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений части учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области мембранных и традиционных процессов разделения смесей, промышленной экологии.

**Цель дисциплины** – расширить представления студентов о возможностях применения мембран, используя их свойства кардинального увеличения площади контакта взаимодействия фаз и избирательного переноса компонентов.

**Задачи дисциплины** – ознакомить студентов с вариантами применения мембран в режим мембранного контактора, различающимися агрегатным состоянием фаз и направлением переноса; привить навыки выбора конструкции аппаратов и типа мембран для различных вариантов применения; дать представление об особенностях массопереноса в мембранных контакторах; ознакомить студентов с прикладными возможностями мембранных контакторов.

Дисциплина **«Мембранные контакторы»** преподается в 3 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения**:

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	- Химическое, химико-технологическое производство  - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК – 5 Способен разрабатывать комплексный научно-технический подход к созданию инновационных решений в области профессиональной деятельности	ПК-5.1 Знает научные, технико-экономические и нормативные аспекты применения процессов разделения смесей	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемых к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 № 121 н, Обобщенная трудовая функция С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. С /02.6. Управление результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (уровень квалификации – 6)
			ПК-5.2 Умеет на основе научных исследований создавать модели и проектные решения в области мембранной технологии	
			ПК-5.3 Владеет методологией и методиками разработки, анализа и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности	

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- Принципы классификации мембранных контакторов по структуре мембран, агрегатному состоянию фаз, направлению переноса и селективности;
- Основы массопереноса в мембранных контакторах, включая особенности движущей силы, коэффициента массопередачи и сопротивления массопереносу;
- Способы проведения процессов в мембранных контакторах: дозирования, эмульгирования, экстракции, дегазации, дистилляции, абсорбции и осмоса.

*Уметь:*

- Выполнять расчеты параметров массопереноса, включая коэффициенты, сопротивления и производительность.
- Разрабатывать технологические решения с использованием мембранных контакторов.

*Владеть:*

- Методами расчета площади поверхности контакта и оценки сопротивлений массопереносу.
- Навыками выявления и устранения застойных зон в мембранных контакторах.
- Методами разработки технологических схем процессов с использованием мембранных контакторов.
- Принципами выбора мембран и конструкций аппаратов для конкретных задач.

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>3</b>	<b>108</b>	<b>81</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>0,94</b>	<b>34</b>	<b>25,5</b>
<b>в том числе в форме практической подготовки</b>	<b>0,94</b>	<b>34</b>	<b>25,5</b>
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	0,47	17	12,75
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2,06</b>	<b>74</b>	<b>55,5</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	2,06	74	55,5
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>зачет</b>		

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов			
		Всего	Лекции	Прак. зан.	Сам. работа
1.	Раздел 1. Контактторы – аппараты для образования смесей	13	3	2	8
2.	Раздел 2. Инжиниринг мембранных контакторов	29	2	5	22
3.	Раздел 3. Типы мембранных контакторов	66	12	10	44
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>74</b>

### 4.2 Содержание разделов дисциплины

#### Раздел 1. Контактторы – аппараты для образования смесей

Классификация смесей и традиционные способы смесеобразования. Фазовые состояния компонентов смеси. Стадии процесса смесеобразования. Динамические и статические контакторы – смесители. Распределенный ввод компонентов.

Массоперенос в контакторах. Особенности массопереноса в мембранных контакторах (МК). Движущая сила и коэффициент массопередачи в МК. Оценка поверхности контакта в МК.

Природные массообменные контакторы. Функции и принципы функционирования некоторых внутренних органов – прототипов МК.

#### Раздел 2. Инжиниринг мембранных контакторов

Конструкции мембранных контакторов. Гидравлические схемы МК. Предупреждение застойных зон в МК. Сопротивления массопереносу в МК. Способы разделения размещения мембран в МК.

Мембраны для мембранных контакторов. Мембранные материалы, лиофобность и лиофильность. Пористость мембран.

#### Раздел 3. Типы мембранных контакторов

Классификация мембранных контакторов. Принципы классификации МК: по структуре мембран; по агрегатному состоянию фаз; по селективности переноса и по направлению переноса.

МК с неселективным переносом жидкость-жидкость на пористой мембране. Мембранное эмульгирование. Мембранная экстракция. Дозирование без и с химической реакцией. Дозирование субстрата при ферментации.

МК с селективным переносом газ-жидкость на пористой мембране. Физическая абсорбция. Химическая абсорбция.

МК с селективным переносом жидкость-газ на пористой мембране. Дегазация жидкостей. мембранная дистилляция. Мембранная кристаллизация.

МК с селективным переносом газ-жидкость на сплошной мембране. Мембранная абсорбция. Абсорбция на жидкой мембране.

МК с селективным переносом жидкость-газ на сплошной мембране. Первапорация.

МК с селективным переносом жидкость-жидкость на сплошной мембране. Прямой осмос. Диализ. Пертракция.

## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	<b>Знать: (перечень из п.2)</b>			
1	Принципы классификации мембранных контакторов по структуре мембран, агрегатному состоянию фаз, направлению переноса и селективности;			+
2	Основы массопереноса в мембранных контакторах, включая особенности движущей силы, коэффициента массопередачи и сопротивления массопереносу;	+	+	
3	Способы проведения процессов в мембранных контакторах: дозирования, эмульгирования, экстракции, дегазации, дистилляции, абсорбции и осмоса.		+	+
	<b>Уметь: (перечень из п.2)</b>			
4	Выполнять расчеты параметров массопереноса, включая коэффициенты, сопротивления и производительность.	+	+	+
5	Разрабатывать технологические решения с использованием мембранных контакторов.		+	+
	<b>Владеть: (перечень из п.2)</b>			
6	Методами расчета площади поверхности контакта и оценки сопротивлений массопереносу.		+	
7	Навыками выявления и устранения застойных зон в мембранных контакторах.		+	+
8	Методами разработки технологических схем процессов с использованием мембранных контакторов.		+	+
9	Принципами выбора мембран и конструкций аппаратов для конкретных задач.	+		+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <b>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения: (перечень из п.2)</b>				
	<b>Код и наименование ПК (перечень из п.2)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)</b>		
10	ПК – 5 Способен разрабатывать комплексный научно-технический подход к созданию инновационных решений в области профессиональной деятельности	ПК-5.1 Знает научные, технико-экономические и нормативные аспекты применения процессов разделения смесей	+	+
		ПК-5.2 Умеет на основе научных исследований создавать модели и проектные решения в области мембранной технологии		+
		ПК-5.3 Владеет методологией и методиками разработки, анализа и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности		+

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	1	Классификация базовых принципов классификации МК	1
2	1	Расчет площади поверхности контакта в МК	1
3	2	Обнаружение и методы ликвидации застойных зон в МК	1
4	2	Оценка сопротивлений массопереносу при мембранной экстракции	2
5	2	Принципы составления технологических схем процесса химической абсорбции в МК	2
6	3	Сравнительный расчет процесса дегазации жидкостей в МК	2
7	3	Принципы конструирования МК-абсорберов с жидкой мембраной	2
8	3	Анализ различий в механизмах переноса в процессах мембранной дистилляции и первапорации	2
9	3	Разработка экологических решений с использованием МК прямого осмоса	2
10	3	Сравнительная оценка параметров основного уравнения массопереноса процессов пертракции и мембранной экстракции	2

### 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторный практикум по дисциплине «*Мембранные контакторы*» Учебным планом не предусмотрен.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционного курса;
- подготовку к сдаче **зачета** (3 семестр) по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей программе. При работе с указанными



источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## **8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 100 баллов).

### **8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины**

Для текущего контроля предусмотрено 2 контрольных работы. Максимальная оценка за контрольные работы 1 и 2 (2 семестр) составляет 30 баллов за каждую.

#### **Контрольные работы**

##### **Контрольная № 1.**

1. Принципы классификации мембранных контакторов.
2. Механизм гидродинамического рассеяния в статических смесителях.
3. Инверсия состояния переносимого компонента на границе раздела фаз.
4. Физический смысл и способы определения удельной площади контакта фаз.
5. Совмещение размерностей концентраций в гетерофазных процессах массопереноса.
7. Методы определения стадии экстремального сопротивления переносу при массопереносе.
8. Способы интенсификации массопереноса на стадиях процесса в МК.
9. Методы определения застойных зон в МК.
10. Конструктивные решения МК.
11. Какой параметр определяет устойчивость мембранного контактора к замачиванию в процессе эксплуатации?
12. Чем определяется выбор материала мембраны для мембранной экстракции?
13. Какие факторы влияют на коэффициент массопередачи в мембранной дистилляции?
14. В чем заключается преимущество использования сплошных мембран в процессах селективного переноса?
15. Опишите основные этапы проектирования мембранного контактора для процессов абсорбции.
16. Какой эффект оказывает увеличение пористости мембраны на эффективность массопереноса?
17. Какие параметры определяют селективность мембранного контактора в процессах дегазации?
18. В чем различия между физической и химической абсорбцией в мембранных контакторах?
19. Как влияет гидрофобность мембран на процессы мембранной экстракции?
20. Какие конструктивные элементы используются для предотвращения застойных зон в мембранных контакторах?

##### **Контрольная № 2.**

1. Расчет линейных сопротивлений движения фаз в МК.
2. Требования к мембранам в МК.
3. Расчет давления прорыва в МК.
4. Влияние степени гидрофильности мембран на эффективность работы МК.
5. Анизотропия мембран в МК – польза или вред.
6. Требования к пористой структуре мембран для МК.
7. Расчет производительности МК с неселективным переносом.
8. Физический смысл коэффициента усиления переноса в МК с селективным переносом.

9. Влияние толщины сплошной мембраны на коэффициент массопередачи в МК.
10. Оптимизация длины МК.
11. Как распределение размеров пор мембраны влияет на стабильность мембранного процесса?
12. Объясните механизмы переноса газа через пористую и сплошную мембрану.
13. Какие методы используются для расчета давления прорыва в мембранных контакторах?
14. Как влияет толщина сплошной мембраны на эффективность процессов мембранной абсорбции?
15. В чем особенности массопереноса в природных массообменных контакторах по сравнению с искусственными?
16. Как подобрать оптимальный режим гидродинамики в мембранном контакторе для процесса эмульгирования?
17. Какие критерии используются для выбора мембран в процессе первапорации?
18. Как изменяются параметры массопереноса при добавлении поверхностно-активных веществ в фазу?
19. Какие экологические преимущества дает использование мембранного дозирования реагентов?
20. Объясните роль температуры среды в процессе мембранной дистилляции.

## **8.2. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – зачет).**

Итоговый контроль по дисциплине не предусмотрен.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

## **8.3. Структура и примеры билетов для зачета (3 семестр).**

Итоговый контроль по дисциплине не предусмотрен.

## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Свитцов А. А. Мембранное разделение смесей. Проектирование и расчет: учебное пособие / А. А. Свитцов. - М.: ДЕЛИ, 2021. - 208 с.
2. Орлов Н. С. Промышленное применение мембранных процессов: учебное пособие - М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. - 111 с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. Свитцов А.А. Введение в мембранную технологию. – М., ДеЛи принт., 2007, - 207с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др.; Ред. Ю.И. Дытнерский. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Химия, 1991. - 496 с
3. Фазылова Д. И., Шишкина Н. Н., Яруллин Р. С., Кияненко Е. А. Мембранные процессы разделения: учебное пособие. - Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2018. – 112 с.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение» ISSN 2072-2710
- Журнал «Химическая Промышленность сегодня» ISSN 0023-110X
- Журнал «Fibers» ISSN 2079-6439
- Журнал «Мембраны и мембранные технологии» ISSN 2218-1172

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <http://www.membrane.msk.ru>
- <http://www.sciencedirect.com>
- <https://ru.espacenet.com/>
- <https://www.elsevier.com/>

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС)

Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## 11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине **«Мембранные контакторы»** проводятся в форме лекционных, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### 11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:

Если необходима наглядная демонстрация каких-либо материалов, то для семинарских занятий используются электронные средства демонстрации, имеющиеся на кафедре: компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран, наглядные образцы мембран, модулей на их основе и оборудования.

### 11.2. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:

Для освоения дисциплины используются следующие печатные и электронные информационные ресурсы:

- учебники и учебные пособия по основным разделам дисциплины;
- учебно-методические разработки кафедры в печатном и электронном виде;
- электронные презентации к разделам лекционных дисциплин.

### 11.3. Перечень лицензионного программного обеспечения:

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Office Standard 2019 В составе: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Word</li> <li>• Excel</li> <li>• Power Point</li> <li>• Outlook</li> </ul>	Контракт №175-262ЭА/2019 от 30.12.2019	150 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> Контактторы – аппараты для образования смесей	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Принципы классификации мембранных контакторов по структуре мембран, агрегатному состоянию фаз, направлению переноса и селективности;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выполнять расчеты параметров массопереноса, включая коэффициенты, сопротивления и производительность;</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Принципами выбора мембран и конструкций аппаратов для конкретных задач.</li> </ul>	Оценка за контрольную работу Оценка за <b>зачет</b>
<b>Раздел 2.</b> Инжиниринг мембранных контакторов	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Основы массопереноса в мембранных контакторах, включая особенности движущей силы, коэффициента массопередачи и сопротивления массопереносу;</li> <li>– Способы проведения процессов в мембранных контакторах: дозирования, эмульгирования, экстракции, дегазации, дистилляции, абсорбции и осмоса;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выполнять расчеты параметров массопереноса, включая коэффициенты, сопротивления и производительность.</li> <li>– Разрабатывать технологические решения с использованием мембранных контакторов.;</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Методами расчета площади поверхности контакта и оценки сопротивлений массопереносу.</li> <li>– Навыками выявления и устранения застойных зон в мембранных контакторах.</li> <li>– Методами разработки технологических схем процессов с использованием мембранных контакторов.;</li> </ul>	Оценка за контрольную работу Оценка за <b>зачет</b>

<p><b>Раздел 3.</b> Типы мембранных контакторов</p>	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Принципы классификации мембранных контакторов по структуре мембран, агрегатному состоянию фаз, направлению переноса и селективности;</li> <li>– Способы проведения процессов в мембранных контакторах: дозирования, эмульгирования, экстракции, дегазации, дистилляции, абсорбции и осмоса;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Выполнять расчеты параметров массопереноса, включая коэффициенты, сопротивления и производительность.</li> <li>– Разрабатывать технологические решения с использованием мембранных контакторов.;</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Навыками выявления и устранения застойных зон в мембранных контакторах.</li> <li>– Методами разработки технологических схем процессов с использованием мембранных контакторов.</li> <li>– Принципами выбора мембран и конструкций аппаратов для конкретных задач.</li> </ul>	<p>Оценка за контрольную работу Оценка за <i>зачет</i></p>
---	---	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 06.04.2021 № 245);

- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащенности образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины**

**«Мембранные контакторы»  
основной образовательной программы**

18.04.01 Химическая технология  
код и наименование направления подготовки (специальности)

«Инжиниринг мембранного разделения»  
наименование ООП

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.
		протокол заседания Ученого совета № _____ от « ____ » _____ 20 ____ г.



**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Российский химико-технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»**

---

**«УТВЕРЖДЕНО»**

на заседании Ученого совета

РХТУ им. Д.И. Менделеева

протокол № 30 от «30» июня 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Сорбционные процессы»**

**Направление подготовки 18.04.01 Химическая технология**

**Магистерская программа – «Инжиниринг мембранного разделения»**

**Квалификация «магистр»**

**Москва 2025**

Программа составлена

Д.т.н., профессор кафедры мембранной технологии М.Б. Алехина

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры мембранной технологии  
«30» апреля 2025 г., протокол № 9

## 1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – магистратура по направлению подготовки **18.04.01 Химическая технология** (ФГОС ВО), рекомендациями Методической комиссии и накопленным опытом преподавания дисциплины кафедрой **мембранной технологии** РХТУ им. Д.И. Менделеева. Программа рассчитана на изучение дисциплины в течение 1 семестра.

Дисциплина **«Сорбционные процессы»** относится к части, формируемой участниками образовательных отношений части дисциплин по выбору дисциплин учебного плана. Программа дисциплины предполагает, что обучающиеся имеют теоретическую и практическую подготовку в области общей химической технологии, процессов и аппаратов химической технологии, процессов массообмена, катализа и промышленных каталитических процессов.

**Цель дисциплины** – углубленное изучение физико-химических основ поверхностных явлений, адсорбционные процессы и технологий разделения и очистки газов с получением ряда важнейших неорганических продуктов: азота, кислорода, водорода, диоксида углерода, редких газов, защитных атмосфер и т.п.

**Задачи дисциплины** – ознакомление с промышленными адсорбционными технологиями, номенклатурой и свойствами промышленных адсорбентов, развитие способностей к анализу и совершенствованию технологических процессов на примерах типовых процессов и методов расчета адсорбционных установок;

- формирование у обучающихся системных знаний в области адсорбционных технологий.

Дисциплина **«Сорбционные процессы»** преподается в 3 семестре. Контроль успеваемости студентов ведется по принятой в университете рейтинговой системе.

Рабочая программа дисциплины может быть реализована с применением электронных образовательных технологий и электронного обучения полностью или частично.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучение дисциплины направлено на приобретение следующих **компетенций и индикаторов их достижения**:

**Универсальные компетенции и индикаторы их достижения:**

**Профессиональные компетенции и индикаторы их достижения:**

Задача профессиональной деятельности	Объект или область знания	Код и наименование ПК	Код и наименование индикатора достижения ПК	Основание (профессиональный стандарт, анализ опыта) Обобщенные трудовые функции
<b>Тип задач профессиональной деятельности: научно-исследовательский</b>				
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	- Химическое, химико-технологическое производство  - Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).	ПК 4- Способен самостоятельно проводить научные исследования, связанные с применением мембранных методов разделения в технологиях различных продуктов, в энергетике и в экологии	ПК-4.2 Умеет анализировать и прогнозировать влияние параметров процессов, условий испытаний на результаты разделения и качество продуктов	Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемым к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.  Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 № 121 н, Обобщенная трудовая функция С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.

				С /01.6. Осуществление научного руководства проведением исследований по отдельным задачам (уровень квалификации – 6)
Выполнение фундаментальных и прикладных работ поискового, теоретического и экспериментального характера с целью определения технических характеристик новой техники, а также комплекса работ по разработке технологической документации	<p>- Химическое, химико-технологическое производство</p> <p>- Сквозные виды профессиональной деятельности в промышленности (в сфере организации и проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области химического и химико-технологического производства).</p>	ПК – 5 Способен разрабатывать комплексный научно-технический подход к созданию инновационных решений в области профессиональной деятельности	<p>ПК-5.1 Знает научные, технико-экономические и нормативные аспекты применения процессов разделения смесей</p> <p>ПК-5.3 Владеет методологией и методиками разработки, анализа и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности</p>	<p>Анализ требований к профессиональным компетенциям, предъявляемых к выпускникам направления подготовки на рынке труда, обобщение зарубежного опыта, проведения консультаций с ведущими работодателями, объединениями работодателей отрасли, в которой востребованы выпускники в рамках направления подготовки.</p> <p>Профессиональный стандарт «Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам», утвержденный приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 04.03.2014 № 121 н, Обобщенная трудовая функция С. Проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок.</p> <p>С /02.6. Управление результатами научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (уровень квалификации – 6)</p>

В результате изучения дисциплины студент магистратуры должен:

*Знать:*

- свойства и строение (химический состав, свойства поверхности, внутреннее строение, физические свойства и т.п.) твердых поглотителей (углеродных адсорбентов, цеолитов, силикагелей, алюмогелей, отбеливающих земель); методы их получения и применение;
- физико-химические основы получения продуктов с помощью адсорбционных технологий;
- механизмы адсорбционных взаимодействий;
- кинетику и динамику адсорбционных процессов;
- основные типы и конструкции аппаратов для проведения адсорбционных процессов;
- методы моделирования и оптимизации адсорбционных процессов очистки и разделения газовых и жидкостных смесей;
- системы автоматизированного проектирования технологических процессов и отдельных узлов технологических схемы
- технологию и общие принципы осуществления адсорбционных процессов
- экологические аспекты применения адсорбционных технологий защиты окружающей среды;

*Уметь:*

- использовать методы исследования и определения параметров адсорбционных;
- анализировать взаимосвязь технологических параметров и эффективности процесса и качество продукции;
- проводить эксперименты по заданным методикам;
- анализировать результаты экспериментов;

*Владеть:*

- методами качественного и количественного анализа;
  - методами теоретического и экспериментального исследования технологических процессов;
  - методами определения параметров математических моделей технологических аппаратов по экспериментальным данным;
  - методами построения и оптимизации технологической схемы;
- методами эксергетического анализа и техноэкономической оптимизации технологических схем

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы	Объем дисциплины		
	ЗЕ	Акад. ч.	Астр. ч.
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	<b>5</b>	<b>180</b>	<b>135</b>
<b>Контактная работа – аудиторные занятия:</b>	<b>1,89</b>	<b>68</b>	<b>51</b>
Лекции	0,47	17	12,75
Практические занятия (ПЗ)	1,42	51	38,25
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2,11</b>	<b>76</b>	<b>57</b>
Самостоятельное изучение разделов дисциплины (или другие виды самостоятельной работы)	2,11	76	57
<b>Вид контроля:</b>			
<b>Экзамен</b>	<b>1</b>	<b>36</b>	<b>27</b>

Контактная работа – промежуточная аттестация	1	0,4	0,3
Подготовка к экзамену.		35,6	26,7
<b>Вид итогового контроля:</b>	<b>экзамен</b>		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

##### 4.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Академ. часов				
		Всего	Лек- ции	Прак. зан.	Лаб. рабо- ты	Сам. рабо- та
1.	Раздел 1. Введение. Краткая история развития адсорбционных технологий.	3	2	-	-	13
2.	Раздел 2. Физико-химические основы адсорбционных процессов.	52	8	25	-	31
3.	Раздел 3. Технология и расчет адсорбционных процессов.	53	7	26	-	32
	<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>	<b>17</b>	<b>51</b>	<b>-</b>	<b>76</b>
	<b>Экзамен</b>	<b>36</b>				
	<b>ИТОГО</b>	<b>180</b>				

## **4.2 Содержание разделов дисциплины**

**Раздел 1.** Введение. Задачи и содержание дисциплины. Роль дисциплины в подготовке инженеров-технологов, работающих в области мембранных технологии. Связь с другими спецкурсами, читаемыми на кафедре. Основные этапы развития адсорбционных процессов, современное состояние и перспективы развития адсорбционных технологий для очистки и разделения газов.

### **Раздел 2.** Физико-химические основы адсорбционных процессов

Адсорбция и силы ее обуславливающие, типы адсорбционных взаимодействий, адсорбционный потенциал на поверхности и в порах адсорбентов.

Характеристики промышленных адсорбентов. Активные угли, силикагели, алюмогели, цеолиты. Структура, химический состав, свойства поверхности, физические свойства, получение, основные марки, применение.

Адсорбционные равновесия. Теплота адсорбции. Классификация пор по М.М. Дубинину. Теория объемного заполнения микропор и области применения ее математического аппарата. Слабо сорбирующийся газы. Адсорбция при повышенных давлениях. Адсорбция смесей.

Предмет изучения, внешняя диффузия, внутренняя диффузия. Виды переноса в порах. Расчет общего коэффициента массопередачи.

Теплообмен в зернистом слое. Основные уравнения, управляющие теплообменом.

Массообмен в зернистом слое. Основные модели динамики адсорбции. Сравнительная характеристика равновесных и неравновесных моделей фронтальной изотермической адсорбции и фронтальной неізотермической адсорбции. Модели динамики термопродувочной регенерации.

### **Раздел 3.** Технология и расчет адсорбционных процессов:

Классификация адсорбционных процессов по способам регенерации. Процессы с однократным использованием адсорбента. Процессы с многократным использованием адсорбента. Процессы с реактивацией адсорбента. Циклические процессы. Процессы с термопродувочной и термовытеснительной регенерацией адсорбента. Принципы построения циклограмм, организация процессов, подбор адсорбентов, примеры использования.

Процессы осушки газов. Принципиальная схема, технология процесса, адсорбенты-осушители, конструктивные особенности основного оборудования. Расчет и анализ материальных и тепловых балансов процесса.

Рекуперация углеводородов. Особенности технологии и аппаратуры процессов. Принципы проектирования установок.

Процессы с косвенным нагревом адсорбента на стадии регенерации. Особенности технологии и аппаратуры процессов.

Процессы короткоцикловой безнагревной адсорбции (КБА). История создания, основные условия реализации.

Очистка воздуха методом КБА. Особенности кинетики и динамики процесса. Анализ материальных балансов процесса осушки.

Очистка водорода с получением  $H_2$  особой чистоты. Основные технологические и аппаратные особенности процесса.

Адсорбционное разделение воздуха. Основные принципы разделения, применяемые адсорбенты. Технологические схемы установок для получения азота и кислорода.

Очистка от диоксида углерода. Получение защитных атмосфер. Особенности организации процесса.

Очистка от сернистых соединений. Применяемые адсорбенты и методы их регенерации. Основные технологические и конструктивные особенности процессов



## 5. СООТВЕТСТВИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	В результате освоения дисциплины студент должен:	Раздел 1	Раздел 2	Раздел 3
	<b>Знать: (перечень из п.2)</b>			
1	• свойства и строение (химический состав, свойства поверхности, внутреннее строение, физические свойства и т.п.) твердых поглотителей (углеродных адсорбентов, цеолитов, силикагелей, алюмогелей, отбеливающих земель); методы их получения и применение;	+	+	+
2	• физико-химические основы получения продуктов с помощью адсорбционных технологий;	+	+	+
3	• механизмы адсорбционных взаимодействий;		+	+
4	• кинетику и динамику адсорбционных процессов;		+	+
5	• основные типы и конструкции аппаратов для проведения адсорбционных процессов;		+	+
6	• методы моделирования и оптимизации адсорбционных процессов очистки и разделения газовых и жидкостных смесей;			+
7	• системы автоматизированного проектирования технологических процессов и отдельных узлов технологических схемы			+
8	• технологию и общие принципы осуществления адсорбционных процессов;			+
9	• экологические аспекты применения адсорбционных технологий защиты окружающей среды;		+	+
	<b>Уметь: (перечень из п.2)</b>			
10	• использовать методы исследования и определения параметров адсорбционных;		+	+
11	• анализировать взаимосвязь технологических параметров и эффективности процесса и качество продукции;			+
12	• проводить эксперименты по заданным методикам;	+	+	+
13	• анализировать результаты экспериментов;	+	+	+
	<b>Владеть: (перечень из п.2)</b>			
14	• методами качественного и количественного анализа;	+		+

15	• методами теоретического и экспериментального исследования технологических процессов;		+	+	+
16	• методами определения параметров математических моделей технологических аппаратов по экспериментальным данным;			+	+
17	• методами построения и оптимизации технологической схемы;				+
18	• методами эксергетического анализа и техноэкономической оптимизации технологических схем.			+	+
В результате освоения дисциплины студент должен приобрести следующие <b>профессиональные компетенции и индикаторы их достижения: (перечень из п.2)</b>					
	<b>Код и наименование ПК (перечень из п.2)</b>	<b>Код и наименование индикатора достижения ПК (перечень из п.2)</b>			
19	ПК 4 – Способен самостоятельно проводить научные исследования, связанные с применением мембранных методов разделения в технологиях различных продуктов, в энергетике и в экологии	ПК-4.2 Умеет анализировать и прогнозировать влияние параметров процессов, условий испытаний на результаты разделения и качество продуктов			+
20	ПК – 5 Способен разрабатывать комплексный научно-технический подход к созданию инновационных решений в области профессиональной деятельности	ПК-5.1 Знает научные, технико-экономические и нормативные аспекты применения процессов разделения смесей	+		
		ПК-5.3 Владеет методологией и методиками разработки, анализа и оптимизации процессов в области профессиональной деятельности		+	

## 6. ПРАКТИЧЕСКИЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

### 6.1. Практические занятия

#### Примерные темы практических занятий по дисциплине.

№ п/п	№ раздела дисциплины	Темы практических занятий	Часы
1	2	Практическое занятие 1. Расчет параметров пористой структуры адсорбентов и величины адсорбции по уравнениям теории объемного заполнения микропор.	6
2	2	Практическое занятие 2. Расчет адсорбции бинарной смеси паров.	6
3	2	Практическое занятие 3. Определение продолжительности работы зернистого слоя в условиях применимости моделей динамики адсорбции: - фронтальной изотермической равновесной и неравновесной моделей адсорбции; - фронтальной неравновесной адиабатической модели динамики адсорбции - фронтальной неравновесной адиабатической динамики десорбции.	6
4	2	Практическое занятие 4. Задачи по определению продолжительности нагрева (охлаждения) слоя адсорбента при регенерации адсорбентов.	6
5	3	Практическое занятие 1. Технологический расчет установки осушки природного газа с термопродувочной регенерацией адсорбента.	7
6	3	Практическое занятие 2. Расчет установок короткоцикловой безнагревной адсорбции на примере осушки воздуха).	6
7	3	Практическое занятие 3. Расчет и анализ материальных балансов процессов получения водорода и азото-водородной смеси (защитной атмосферы), построение циклограмм, обсуждение схем процессов и особенностей кинетики и динамики.	8
8	3	Практическое занятие 4. Расчет установки очистки природного газа от сернистых соединений. Подбор адсорбента, расчет равновесной емкости сероводорода при адсорбции из смеси газов, выбор метода регенерации, обсуждение технологической схемы, расчет размеров адсорбера.	6

### 6.2 Лабораторные занятия

Лабораторный практикум по дисциплине «Сорбционные процессы» Учебным планом не предусмотрен.

## 7. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

Рабочей программой дисциплины «*Сорбционные процессы*» предусмотрена самостоятельная работа студента магистратуры в объеме 76 ч в 3 семестре (подготовка к экзамену). Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- ознакомление и проработку рекомендованной литературы, работу с электронно-библиотечными системами, включая переводы публикаций из научных журналов, цитируемых в базах Scopus, Web of Science, Chemical Abstracts, РИНЦ;
- посещение отраслевых выставок и семинаров;
- участие в семинарах РХТУ им. И. Менделеева по тематике дисциплины;
- подготовку к выполнению контрольных работ по материалу лекционной дисциплины;
- подготовку к сдаче *экзамена* (3 семестр) по дисциплине.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь период изучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в учебной программе. При работе с указанными источниками рекомендуется составлять краткий конспект материала, с обязательным фиксированием библиографических данных источника.

## 8. ПРИМЕРЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Совокупная оценка по дисциплине складывается из оценок за выполнение контрольных работ (максимальная оценка 60 баллов) и итогового контроля в форме *экзамена* (максимальная оценка 40 баллов).

### 8.1. Примеры контрольных вопросов для текущего контроля освоения дисциплины

Для текущего контроля предусмотрено 2 контрольных работы. Максимальная оценка за контрольные работы 1 и 2 (3 семестр) составляет 30 баллов за каждую.

#### Раздел 1. Примеры вопросов к контрольной работе № 1.

1. Силы, обуславливающие адсорбцию.
2. Назовите составляющие общей энергии взаимодействия при адсорбции
3. Распределение сил над плоской поверхностью и в порах адсорбента.
4. Виды пор в адсорбентах.
5. Механизмы адсорбции в микро-, мезо- и макропорах.
6. Молекулярно-ситовой эффект. Какие адсорбенты обладают этими свойствами? Приведите примеры.
7. Адсорбционное равновесие. Основные концепции, описывающие равновесие на поверхности и в микропорах адсорбентов
8. Изотермы, изобары и изостеры адсорбции. Связь теплоты адсорбции и изостеры адсорбции.
9. Методы измерения изотерм адсорбции.
10. Тип изотермы адсорбции паров воды на активированных углях. Опишите механизм взаимодействия.
11. Основные уравнения, описывающие равновесие при адсорбции.

12. Теория объемного заполнения микропор: основные положения, возможности и ограничения при использовании для расчета адсорбционного равновесия
13. Структура, химия поверхности и адсорбционные свойства активных углей
14. Структура, характер поверхности и адсорбционные свойства силикагелей
15. Структура, характер поверхности и адсорбционные свойства активного оксида алюминия
16. Структура цеолитов и их адсорбционные свойства. Молекулярно-ситовые свойства, ионообменные свойства. Первичные и вторичные поры.
17. Основные уравнения для внешнEDIффузионной кинетики. Коэффициент внешней массоотдачи.
18. Виды переноса внутри гранул адсорбентов. Коэффициент внутренней массоотдачи по Глюкауфу.
19. Продольнодиффузионный массоперенос. Расчет эффективного коэффициента продольной массоотдачи по Тодесу-Биксону.
20. Уравнение аддитивности диффузионных сопротивлений.
21. Фронтальная динамика изотермической равновесной адсорбции (десорбции): уравнения Вильсона и Викке. Иллюстрируйте примерами для изотерм разного вида.
22. Изменения конфигурации адсорбционных фронтов при различных направлениях движения потока и различных начальных распределениях адсорбата в слое в случае реализации режима фронтальной динамики изотермической равновесной адсорбции.
23. Квазистационарный перенос адсорбционного фронта. Уравнение Шилова.
24. Фронтальная динамика изотермической неравновесной адсорбции: уравнения ЖЗТ.
25. Сравнительные характеристики равновесных и неравновесных моделей фронтальной изотермической адсорбции.
26. Ионный обмен.
27. Равновесная адсорбция смесей. Коэффициент разделения, его зависимость от температуры, давления, свойств адсорбента.
28. Уравнения Льюиса и Бентона-Маркгема для адсорбции смесей.
29. Условия применимости уравнений Льюиса и Бентона-Маркгема для адсорбции смесей.
30. Специфика адсорбции слабо сорбирующихся газов. Изотермы избыточной адсорбции. Взаимосвязь полной и избыточной адсорбции.

## **Раздел 2. Примеры вопросов к контрольной работе № 2.**

1. Классификация адсорбционных процессов по назначению.
2. Классификация адсорбционных процессов по способу контакта адсорбционного слоя и очищаемого потока.
3. Методы регенерации адсорбентов. Достоинства и недостатки каждого из методов.
4. Классификация адсорбционных процессов по методам регенерации адсорбентов.
5. Области и условия применения адсорбционных процессов с однократно используемым адсорбентом
6. Типы процессов с многократным использованием адсорбента.
7. Дайте определения регенерации и реактивации. Назовите разграничения между ними по значению  $PВ_c$ .
8. Термическая регенерация адсорбента. Достоинства и недостатки метода.
9. Снижение давления в системе, как метод регенерации адсорбента. Достоинства и недостатки метода.

10. Вытеснительная десорбция, как метод регенерации адсорбента. В каких случаях целесообразно использование этого метода регенерации адсорбента?
11. Изотермическая продувка в качестве метода регенерации. Достоинства и недостатки метода.
12. Приведите примеры процессов с реактивацией адсорбента.
13. Непрерывные и периодические процессы. Приведите примеры непрерывных и периодических адсорбционных процессов.
14. Типы циклических адсорбционных процессов. Понятие о циклограммах.
15. Циклограмма адсорбционного процесса осушки газов с нагревной регенерацией адсорбента.
16. Циклограмма адсорбционного процесса осушки газов с безнагревной регенерацией адсорбента.
17. Почему процессы адсорбционной очистки газов с противоточной регенерацией адсорбентов используют чаще, чем процессы с прямоточной регенерацией?
18. Основные стадии циклических процессов, проводимых с применением тепла для регенерации адсорбентов.
19. Варианты организации термопродувочной регенерации адсорбента.
20. Аппаратурное оформление адсорбционных процессов с регенерацией адсорбента прямым вводом тепла теплоносителем – газом
21. Области применения процессов с термопродувочной регенерацией.
22. Углеродные адсорбенты: области применения в технологии неорганических веществ.
23. Применение силикагелей в технологии неорганических веществ.
24. Активный оксид алюминия и алюмогели в технологии неорганических веществ. Приведите примеры использования.
25. Природные и синтетические цеолиты в неорганической технологии. Приведите примеры использования.
26. Абсолютное и относительное влагосодержание газов: определения и единицы измерения.
27. Адсорбенты, применяемые в процессах осушки газов.
28. Технологические свойства промышленных адсорбентов-осушителей.
29. Изменения концентрации газа и активности адсорбента в начальной стадии процесса осушки (процесс с термопродувочной регенерацией адсорбента). Имитация циклов процесса по изотерме адсорбции.
30. Степень осушки. От чего зависит степень осушки газа в процессе TSA?

### **8.3. Вопросы для итогового контроля освоения дисциплины (3 семестр – экзамен).**

Экзаменационный билет включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины и содержит 3 вопроса. 1 вопрос – 10 баллов, вопрос 2 – 15 баллов, вопрос 3 – 15 баллов.

1. Основные конструкции адсорберов для процессов осушки газов
2. Циклограмма и схема двухадсорберной установки осушки газов с термопродувочной регенерацией.
3. Циклограмма и варианты схем трехадсорберной установки осушки газов с термопродувочной регенерацией. Достоинства и недостатки каждого варианта схемы.
4. Область применения процессов с термопродувочной регенерацией адсорбента.
5. Конструкция адсорберов в процессах с термопродувочной регенерацией адсорбента.

6. Блок подготовки газа к осушке: назначение блока, организация, основное оборудование.
7. Назначение схем с закрытым циклом регенерации.
8. Принципиальная схема двухадсорберного процесса осушки воздуха с нагревной регенерацией адсорбента.
9. Степень осушки. От чего зависит степень осушки газа в процессе TSA?
10. Расчет установки осушки природного газа. Структура тепловых балансов.
11. Старение и дезактивация адсорбентов.
12. Старение адсорбента и выбор характеристик адсорбционного цикла.
13. Условия осуществимости процессов с безнагревной регенерацией адсорбента.
14. Циклограмма адсорбционного процесса осушки воздуха с безнагревной регенерацией адсорбента.
15. Циклограмма и схема безнагревной установки осушки воздуха по Скарстрому.
16. Распределения концентраций адсорбата в безнагревном процессе осушки газа по Скарстрому.
17. Адсорбционное разделение воздуха. Применяемые адсорбенты.
18. Получение кислорода: циклограмма и схема.
19. Получение азота путем разделения воздуха адсорбционным методом.
20. Основные технологические и аппаратные особенности процессов адсорбционного разделения воздуха.
21. Основные стадии циклических процессов, проводимых с применением тепла для регенерации адсорбентов.
22. Назначение и область применения процессов термовытеснительного типа.
23. Ограничения на концентрацию рекуперированного растворителя. Чем они вызваны, как обеспечивается необходимый состав газа?
24. Узел подготовки газа в углепаровой рекуперационной установке.
25. Блок переработки конденсата в углеадсорбционных рекуперационных установках.
26. Конструкции адсорберов, применяемых в процессах рекуперации летучих растворителей.
27. Срок службы адсорбента в установках углепаровой рекуперации растворителей. Причины дезактивации адсорбента.
28. Области применения циклических процессов с нагревом и охлаждением слоя за счет теплопроводности.
29. Схема очистки воздуха с регенерацией адсорбента подводом тепла через стенку. Прокомментируйте работу установки.
30. Основные принципы осуществимости процессов с безнагревной регенерацией адсорбента.

Фонд оценочных средств приведен в виде отдельного документа, являющегося неотъемлемой частью основной образовательной программы.

#### 8.4. Структура и примеры билетов для экзамена (3 семестр).

*Экзамен* по дисциплине «Сорбционные процессы» проводится в 3 семестре и включает контрольные вопросы по всем разделам рабочей программы дисциплины. Билет для *экзамена* состоит из 3 вопросов, относящихся к указанным разделам.

Пример билета для *экзамена*:

<p><b>«Утверждаю»</b></p> <p>_____</p> <p>(Должность, наименование кафедры)</p> <p>_____</p> <p>(Подпись)      (И. О. Фамилия)</p> <p>«__» _____ 20__ г.</p>	<b>Министерство науки и высшего образования РФ</b>
	<b>Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева</b>
	<b>Кафедра мембранной технологии</b>
	<b>18.04.01 Химическая технология</b>
	<b>Магистерская программа – «Инжиниринг мембранного разделения»</b>
	<b>Сорбционные процессы</b>
<p align="center"><b>Билет № 1</b></p> <p>1. Равновесная адсорбция смесей. Коэффициент разделения, его зависимость от температуры, давления, свойств адсорбента.</p> <p>2. Соотношения между концентрационным и температурным фронтами в динамике адиабатической адсорбции.</p> <p>3. Достоинства и ограничения применения адсорбционных методов в процессах очистки газов от соединений серы.</p>	



## **9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **9.1. Рекомендуемая литература**

#### **А. Основная литература**

1. Алехина М.Б. Промышленные адсорбенты: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. 112 с.
2. М. Б. Алёхина, Т. В. Конькова, Е. Ю. Либерман, А. Г. Кошкин Экспериментальные методы исследования адсорбции. Лабораторные работы: учеб. пособие / М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 87 с.

#### **Б. Дополнительная литература**

1. Милютин, В. В. Современные методы очистки техногенных сточных вод от токсичных примесей: учеб. пособие / В.В. Милютин, М.Б. Алехина. Б.Е. Рябчиков, – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. – 131 с.

### **9.2. Рекомендуемые источники научно-технической информации**

- Раздаточный иллюстративный материал к лекциям.
- Презентации к лекциям.
- Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Научно-технические журналы:

- Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение» ISSN 2072-2710
- Журнал «Химическая Промышленность сегодня» ISSN 0023-110X
- Журнал «Fibers» ISSN 2079-6439
- Журнал «Мембраны и мембранные технологии» ISSN 2218-1172

Ресурсы информационно–телекоммуникационной сети Интернет:

- <http://www.membrane.msk.ru>
- <http://www.sciencedirect.com>
- <https://ru.espacenet.com/>
- <https://www.elsevier.com/>

## **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Информационную поддержку изучения дисциплины осуществляет Информационно-библиотечный центр (ИБЦ) РХТУ им. Д.И. Менделеева, который обеспечивает обучающихся основной учебной, учебно-методической и научной литературой, необходимой для организации образовательного процесса по дисциплине. Общий объем многоотраслевого фонда ИБЦ на 01.01.2025 г. составляет 1 563 142 экз.

Фонд ИБЦ располагает учебной, учебно-методической и научно-технической литературой в форме печатных и электронных изданий, а также включает официальные, справочно-библиографические, специализированные отечественные и зарубежные периодические и информационные издания. ИБЦ обеспечивает доступ к профессиональным базам данных, информационным, справочным и поисковым системам.

Каждый обучающийся обеспечен свободным доступом из любой точки, в которой имеется доступ к сети Интернет и к электронно-библиотечной системе (ЭБС) Университета, которая содержит различные издания по основным изучаемым дисциплинам

и сформирована по согласованию с правообладателями учебной и учебно-методической литературы.

Для более полного и оперативного справочно-библиографического и информационного обслуживания в ИБЦ реализована технология Электронной доставки документов.

Полный перечень электронных информационных ресурсов, используемых в процессе обучения, представлен в основной образовательной программе.

## **11. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

В соответствии с учебным планом занятия по дисциплине *«Сорбционные процессы»* проводятся в форме лекционных, практических занятий и самостоятельной работы обучающегося.

### **11.1. Оборудование, необходимое в образовательном процессе:**

Если необходима наглядная демонстрация каких-либо материалов, то для семинарских занятий используются электронные средства демонстрации, имеющиеся на кафедре: компьютер со средствами звуковоспроизведения, проектор, экран, наглядные образцы мембран, модулей на их основе и оборудования.

### **11.2. Печатные и электронные образовательные и информационные ресурсы:**

Для освоения дисциплины используются следующие печатные и электронные информационные ресурсы:

- учебники и учебные пособия по основным разделам дисциплины;
- учебно-методические разработки кафедры в печатном и электронном виде;
- электронные презентации к разделам лекционных дисциплин.

### **11.3. Перечень лицензионного программного обеспечения:**

Полный перечень лицензионного программного обеспечения представлен в основной образовательной программе.

№ п/п	Наименование программного продукта	Реквизиты договора поставки	Количество лицензий	Срок окончания действия лицензии
1	Microsoft Office Standard 2019 В составе: <ul style="list-style-type: none"><li>• Word</li><li>• Excel</li><li>• Power Point</li><li>• Outlook</li></ul>	Контракт №175-262ЭА/2019 от 30.12.2019	150 лицензий для активации на рабочих станциях	12 месяцев (ежегодное продление подписки с правом перехода на обновлённую версию продукта)

## 12. ТРЕБОВАНИЯ К ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ

Наименование Разделов	Основные показатели оценки	Формы и методы контроля и оценки
<b>Раздел 1.</b> Физико-химические основы адсорбционных процессов	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• свойства и строение (химический состав, свойства поверхности, внутреннее строение, физические свойства и т.п.) твердых поглотителей (углеродных адсорбентов, цеолитов, силикагелей, алюмогелей, отбеливающих земель); методы их получения и применение;</li> <li>• физико-химические основы получения продуктов с помощью адсорбционных технологий;</li> <li>• механизмы адсорбционных взаимодействий;</li> <li>• кинетику и динамику адсорбционных процессов;</li> <li>• основные типы и конструкции аппаратов для проведения адсорбционных процессов;</li> <li>• экологические аспекты применения адсорбционных технологий защиты окружающей среды;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать методы исследования и определения параметров адсорбционных;</li> <li>• проводить эксперименты по заданным методикам;</li> <li>• анализировать результаты экспериментов;</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами качественного и количественного анализа;</li> <li>• методами эксергетического анализа и техноэкономической оптимизации технологических схем.</li> </ul>	Оценка за контрольную работу  Оценка за экзамен
<b>Раздел 2.</b> Технология и расчет адсорбционных процессов	<p><i>Знает:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• свойства и строение (химический состав, свойства поверхности, внутреннее строение, физические свойства и т.п.) твердых поглотителей (углеродных адсорбентов, цеолитов, силикагелей, алюмогелей, отбеливающих земель); методы их получения и применение;</li> <li>• физико-химические основы получения продуктов с помощью адсорбционных технологий;</li> </ul>	Оценка за контрольную работу  Оценка за экзамен

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• механизмы адсорбционных взаимодействий;</li> <li>• кинетику и динамику адсорбционных процессов;</li> <li>• основные типы и конструкции аппаратов для проведения адсорбционных процессов;</li> <li>• методы моделирования и оптимизации адсорбционных процессов очистки и разделения газовых и жидкостных смесей;</li> <li>• системы автоматизированного проектирования технологических процессов и отдельных узлов технологических схемы</li> <li>• технологию и общие принципы осуществления адсорбционных процессов;</li> <li>• экологические аспекты применения адсорбционных технологий защиты окружающей среды;</li> </ul> <p><i>Умеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использовать методы исследования и определения параметров адсорбционных;</li> <li>• анализировать взаимосвязь технологических параметров и эффективности процесса и качество продукции;</li> <li>• проводить эксперименты по заданным методикам;</li> <li>• анализировать результаты экспериментов;</li> </ul> <p><i>Владеет:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• методами качественного и количественного анализа;</li> <li>• методами теоретического и экспериментального исследования технологических процессов;</li> <li>• методами определения параметров математических моделей технологических аппаратов по экспериментальным данным;</li> <li>• методами построения и оптимизации технологической схемы;</li> <li>• методами эксергетического анализа и техноэкономической оптимизации технологических схем.</li> </ul>	
--	---	--

### **13. ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ**

Обучение инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется в соответствии с:

- Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (Приказ Минобрнауки РФ от 05.04.2017 № 301);

- Положением о порядке организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», принятым решением Ученого совета РХТУ им. Д.И. Менделеева от 28.12.2022, протокол № 5;

- Методическими рекомендациями по организации образовательного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в образовательных организациях высшего образования, в том числе оснащённости образовательного процесса (утверждены заместителем Министра образования и науки РФ А.А. Климовым от 08.04.2014 № АК-44/05вн).

**Дополнения и изменения к рабочей программе дисциплины**  
**«Сорбционные процессы»**

**основной образовательной программы**

18.04.01 Химическая технология  
код и наименование направления подготовки (специальности)

«Инжиниринг мембранного разделения»  
наименование ООП

Форма обучения: очная

Номер изменения/ дополнения	Содержание дополнения/изменения	Основание внесения изменения/дополнения
1.		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.
		протокол заседания Ученого совета №_____от «___»_____20__г.



РХТУ им. Д.И. Менделеева  
ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ПРОСТОЙ  
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Владелец: Лемешев Дмитрий Олегович 22  
Проректор по учебной работе,  
Ректорат

Подписан: 16:01:2026 19:25:39