

УТВЕРЖДАЮ  
Первый проректор, проректор по  
УР

\_\_\_\_\_ А.Е. Рудин

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.ДВ.01.02** Адсорбционные процессы защиты окружающей среды

Учебный план: 2024-2025 20.04.01 ИПХиЭ ТБ ОО №2-1-99.plx

Кафедра: **18** Инженерной химии и промышленной экологии

Направление подготовки:  
(специальность) 20.04.01 Техносферная безопасность

Профиль подготовки: Инженерная защита окружающей среды  
(специализация)

Уровень образования: магистратура

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)		Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоём- кость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
		Лекции	Лаб. занятия				
2	УП	17	17	37,75	0,25	2	Зачет
	РПД	17	17	37,75	0,25	2	
3	УП	17	34	66	27	4	Экзамен
	РПД	17	34	66	27	4	
Итого	УП	34	51	103,75	27,25	6	
	РПД	34	51	103,75	27,25	6	

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, утвержденным приказом Минобрнауки России от 25.05.2020 г. № 678

Составитель (и):

доктор технических наук, Профессор

\_\_\_\_\_

Витковская  
Федоровна

Раиса

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой инженерной химии и  
промышленной экологии

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай  
Юрьевич

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай  
Юрьевич

Методический отдел:

\_\_\_\_\_

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Формирование компетенций будущих магистров в области адсорбционных и адсорбционно-каталитических процессов.

**1.2 Задачи дисциплины:**

- обучить разработке инженерно-технических решений по защите окружающей среды от токсичных веществ;
- научить методам анализа, расчёта, проектирования установок адсорбционной техники;
- показать основные материалы, приборы, методы исследования адсорбционных процессов; процессы взаимодействия примесных компонентов на межфазных поверхностях пористых сорбентов, ионообменников, активных углей, цеолитов и силикагелей, хлопьев коагулянтов и флокулянтов;
- обеспечить понимание особенностей межфазных процессов в дисперсных системах техники и живой природы, формирование технически грамотных подходов к разработке решений по очистке стоков и газовых выбросов от загрязнителей, выделению ценных компонентов адсорбционными методами.

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Экологическая химия

Современные проблемы науки в области защиты окружающей среды

Энергохимические процессы защиты окружающей среды

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-1: Способен проводить экологический анализ проектов расширения, реконструкции, модернизации действующих производств, создаваемых новых технологий и оборудования в организации**

**Знать:** научные принципы получения и применения адсорбентов.

**Уметь:** анализировать и выбирать адсорбенты для конкретных технологических систем.

**Владеть:** навыками исследования адсорбентов и адсорбционных процессов.

**ПК-2: Способен устанавливать причины и последствия аварийных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, подготавливать предложения по предупреждению негативных последствий.**

**Знать:** основы использования адсорбционных процессов для ликвидации аварийных выбросов и сбросов загрязнений в окружающую среду.

**Уметь:** обоснованно выбирать материалы и оборудование для реализации адсорбционной технологии очистки.

**Владеть:** навыками обоснованного выбора методов очистки потоков и параметры технологических процессов для достижения оптимального эффекта очистки.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Лаб. (часы)			
Раздел 1. Терминология и общие определения	2					С,Л,О
Тема 1. Понятие об адсорбции. Виды адсорбции. Применение в промышленности и исследованиях.		2		3	ИЛ	
Тема 2. Основные свойства сорбентов. Лабораторная работа "Определение сорбционной ёмкости углеродного сорбента".		2	4	3	ГД	
Тема 3. Параметры адсорбционных процессов. Применяемые аппараты и режимы проведения адсорбции.		2		4	ИЛ	
Тема 4. Адсорбенты и их виды. Лабораторная работа "Определение статической и динамической ёмкости ионообменника".		2	4	6	ГД	
Раздел 2. Равновесная сорбция. Основные действующие законы и их применение для исследования и технологических расчётов.						
Тема 5. Понятие об изотерме адсорбции. Способы измерения, существующие типы изотерм и их математическое описание.	2	2		10	ИЛ	С,Л
Тема 6. Определение общей удельной поверхности адсорбентов, метод БЭТ, физическая сорбция, хемосорбция, ионный обмен. Определение размеров и распределения частиц и пор. Лабораторная работа "Определение изотерм сорбции углеродного волокна в статическом и динамическом режиме".	2	5	8	ГД		
Тема 7. Адсорбционные методы определения общей и парциальной поверхности адсорбентов, гетерогенных носителей и катализаторов (современное состояние и тенденции развития). Лабораторная работа "Исследование процесса очистки воды от органических загрязнений на углеродном сорбенте".	5	4	3,75	ГД		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		17	17	37,75		
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25				
Раздел 3. Неравновесная адсорбция. Кинетика и динамика сорбции.	3					Л,С
Тема 8. Основные параметры и закономерности сорбции. Понятие о выходной кривой сорбции и времени защитного действия. Лабораторная работа "Определение содержания органических кислот методом тонкослойной хроматографии".		2	8	4	ГД	

Тема 9. Технологические расчёты сорбционных процессов. Лабораторная работа "Определение состава органических жидкостей методом газовой хроматографии".	2	8	8	ГД	
Тема 10. Десорбция, виды десорбции, типы десорбирующих агентов.	3		12	ИЛ	
Раздел 4. Применение адсорбции для очистки газов и жидкостей, химического анализа, гетерогенного катализа. Типы используемых адсорбентов.					
Тема 11. Оксид алюминия, способы получения, структура и кислотные основные свойства. Лабораторная работа "Изучение процесса разделения красителей методом колоночной жидкостной хроматографии".	3	10	12	ГД	Л,С
Тема 12. Углеродные материалы, синтез, физико-химические свойства и применение. Циркулены, фуллерены, углеродные нанотрубки. Углеродные волокна, углерод-углеродные композиционные материалы.	2		12	ИЛ	
Раздел 5. Применение адсорбционных технологий в промышленных аппаратах для защиты окружающей среды					
Тема 13. Современное состояние и перспективы применения процессов адсорбции для очистки промышленных выбросов и сбросов. Лабораторная работа "Определение содержания металлов в воде методом проточного ионного обмена".	2	8	6	ГД	Л,С
Тема 14. Процессы переработки нефти, крекинг, риформинг. Использование процессов адсорбции в нефтеперерабатывающей отрасли.	3		12	ИЛ	
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	17	34	66		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)		2,5	24,5		
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		87,75	128,25		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-1	Раскрывает принципы и методологию получения адсорбционных материалов и области их использования.	Вопросы для устного собеседования  Практико-ориентированные задания
	Обосновывает выбор адсорбента для конкретной системы и оборудование для проведения процесса.  Предлагает физико-химические и технологические методы анализа адсорбентов, прогнозирует использование адсорбционных аппаратов.	
ПК-2	Характеризует источники образования отходов, выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду; методы и	Вопросы для устного

	<p>средства ликвидации последствий нарушения состояния окружающей среды.</p> <p>Устанавливает причины аварийных и сверхнормативных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в организации; оценивать последствия аварийных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду.</p> <p>Предлагает выбор адсорбента и конструкцию адсорбционного узла при очистке аварийных выбросов и сбросов.</p>	<p>собеседования</p> <p>Практико-ориентированные задания</p>
--	--	--

### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	<p>Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу.</p> <p>Качество исполнения всех элементов задания полностью соответствует всем требованиям.</p>	
4 (хорошо)	<p>Ответ полный, основанный на проработке всех обязательных источников информации. Подход к материалу ответственный, но стандартный.</p> <p>Индивидуальное задание выполнено в достаточном объеме, но ограничивается только основными подходами.</p>	
3 (удовлетворительно)	<p>Ответ воспроизводит в основном только лекционные материалы, без самостоятельной работы с рекомендованной литературой. Демонстрирует понимание предмета в целом, без углубления в детали. Присутствуют существенные ошибки или пробелы в знаниях по некоторым темам.</p> <p>Задание выполнено полностью, но в работе есть отдельные существенные ошибки, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием.</p>	
2 (неудовлетворительно)	<p>Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки.</p> <p>Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы.</p> <p>Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки).</p> <p>Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы.</p>	
Зачтено	<p>Обучающийся твердо знает материал дисциплины, грамотно и по существу излагает его, владеет профессиональной терминологией,</p>	

	показывает умение работать с основной и дополнительной литературой, своевременно выполнил и защитил лабораторные работы.	
Не зачтено	Обучающийся не владеет материалом дисциплины, профессиональной терминологией, допускает принципиальные ошибки при ответе на вопросы, не приобрел необходимые умения и навыки, не выполнил в полном объеме лабораторные работы, предусмотренные рабочей программой.	

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 3	
1	Процессы переработки нефти, крекинг, риформинг. Использование процессов адсорбции в нефтеперерабатывающей отрасли.
2	Адсорбционные процессы для очистки промышленных выбросов и сбросов.
3	Короткоцикловая безнагревная адсорбция, преимущества и область применения.
4	Новые формы углеродных сорбентов. Циркулены, фуллерены, углеродные нанотрубки, стеклоуглерод, филаментарный углерод, углерод-углеродные композиционные материалы. Углеродные носители катализаторов.
5	Углеродные сорбенты, активированный уголь, углеродные волокна, сажи, способы получения, структура, основные свойства.
6	Цеолиты (молекулярные сита) природные и синтетические, способы получения, свойства.
7	Сорбенты на основе силикагеля, способы получения, свойства.
8	Сорбенты на основе пористого оксида алюминия, способы получения, основные свойства.
9	Материальный баланс адсорбера, рабочая линия процесса, расчёт числа теоретических ступеней.
10	Выходная кривая динамической адсорбции, время защитного действия.
11	Скорость адсорбции и способы её вычисления.
12	Уравнения массоотдачи и массопередачи. Материальный баланс адсорбера, рабочая линия процесса.
13	Основные способы определения общей и удельной поверхности сорбентов и катализаторов.
14	Типы адсорбции, физическая, хемосорбция, ионный обмен.
15	Способы определения объема пор и их распределения по размеру, ртутная порометрия.
16	Применение уравнения БЭТ для изучения удельной поверхности сорбента.
17	Теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета, Теллера. Достоинства и недостатки.
18	Мономолекулярная адсорбция. Уравнение Ленгмюра, Фрейндлиха.
19	Способы измерения изотерм сорбции в жидких и газовых средах.
20	Основные виды изотерм сорбции.
21	Изотерма сорбции, её значение для исследования свойств веществ, анализа и сорбционной очистки.
22	Общая схема устройства и работы адсорбционной установки.
23	Основные стадии работы сорбционной установки.
24	Общее описание сорбционных процессов. Динамические и статические режимы сорбции. Приведённая скорость движения газа или жидкости. Расходы компонентов и материальный баланс процесса.
25	Свойства сорбентов. Насыпная плотность, удельная поверхность, удельный объем пор, распределение пор по размеру, предельная сорбция, энтальпия и энтропия сорбции, гидравлическое сопротивление слоя. Способы выражения количества поглощённого вещества.
26	Адсорбция. Определения, основные понятия. Виды адсорбции. Десорбция.

## 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрены.

## 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Определить требуемое количество активированного угля, высоту слоя адсорбента и диаметр адсорбера периодического действия для поглощения паров бензина из смеси его с воздухом. Расход паровоздушной смеси 3450 м<sup>3</sup>/ч. Начальная концентрация бензина  $C_0=0.02$  кг/м<sup>3</sup>. Скорость паровоздушной смеси 0,23 м/с, считая на полное сечение аппарата, динамическая активность угля по бензину 7% (масс.), остаточная активность после десорбции 0,8% (масс.), насыпная плотность угля 500 кг/м<sup>3</sup>. Продолжительность десорбции. Сушки и охлаждения адсорбента составляет 1,45 ч.

2. Определить длину зоны массопередачи неподвижного слоя цеолита NaA ( $d_{\text{з}} = 0.002$  м) и рабочую высоту колонного аппарата для процесса глубокой осушки газов ( $C_{\text{пр}} = 2,94 \cdot 10^{-6}$  кг/м<sup>3</sup>) при следующих условиях: высота неподвижного слоя 0,26м,  $C_0 = 0,01$  кг/м<sup>3</sup>, скорость паровоздушного потока, отнесенная к полному сечению аппарата, 0,5 м/с,  $t_{\text{нас}} = 190$  мин,  $t = \text{пр}110$  мин.

3. Адсорбция некоторого газа на поверхности твердого тела описывается изотермой Лэнгмюра и при 250с характеризуется константой адсорбционного равновесия  $K=0,85$  кПа<sup>-1</sup>. Рассчитайте давление газа в изучаемой системе при разных степенях заполнения поверхности газом:  $\theta = 0,15$ ;  $\theta = 0,95$ .

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная

Письменная

Компьютерное тестирование

Иная

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- время на подготовку к устному собеседованию составляет 30 минут;
- выполнение практико-ориентированного задания составляет 30 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Панов В. П., Бусыгин Н. Ю.	Инженерная защита окружающей среды	СПб.: СПбГУПТД	2014	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2049">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2049</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Мешалкин, А. В., Дмитриева, Т. В., Шемель, И. Г., Маньшина, И. В.	Экологическое состояние атмосферы	Саратов: Ай Пи Ар Букс	2015	<a href="http://www.iprbookshop.ru/33871.html">http://www.iprbookshop.ru/33871.html</a>
Гребенников С. Ф., Эльтеков Ю. А.	Сорбция в полимерных системах	СПб.: СПбГУПТД	2014	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1967">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1967</a>
Новиков, В. К.	Экология и инженерная защита окружающей среды	Москва: Московская государственная академия водного транспорта	2020	<a href="http://www.iprbookshop.ru/97330.html">http://www.iprbookshop.ru/97330.html</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем



Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Раздел. Химическая технология. Химическая промышленность» [Электронный ресурс]. URL: [http://window.edu.ru/catalog/?p\\_rubr=2.2.75.25](http://window.edu.ru/catalog/?p_rubr=2.2.75.25)

Министерство экономического развития Российской Федерации. Федеральная государственная информационная система территориального планирования [Электронный ресурс]. URL: <https://fgistp.economy.gov.ru/>

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftOfficeProfessional

Microsoft Windows

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду