

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор, проректор
по УР

_____ А.Е. Рудин

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.01.02

Адсорбционные процессы защиты окружающей среды

Учебный план:

2025-2026 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:
(специализация)

Инженерная защита окружающей среды

Уровень образования:

магистратура

Форма обучения:

очная

План учебного процесса

| Семестр (курс для ЗАО) | | Контактная работа обучающихся | | Сам. работа | Контроль, час. | Трудоёмкость, 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 | 16 | 32 | 69 | 27 | 4 | Экзамен |
| | РПД | 16 | 32 | 69 | 27 | 4 | |
| Итого | УП | 33 | 49 | 106,75 | 27,25 | 6 | |
| | РПД | 33 | 49 | 106,75 | 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 Раиса
Федоровна

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой инженерной химии и
промышленной экологии

Бусыгин Николай Юрьевич

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Бусыгин Николай Юрьевич

Методический отдел:

С. В. Макаренко

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 | | | | | ,Л |
| 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. | | | | | | ,Л |
| Тема 5. Понятие об изотерме адсорбции. Способы измерения, существующие типы изотерм и их математическое описание. | | 2 | | 10 | ИЛ | |
| 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, |
| 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. | | 2 | | 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 кислотно основные свойства. Лабораторная работа "Изучение процесса разделения красителей методом колоночной жидкостной хроматографии". | | 3 | 10 | 12 | ГД | Л, |
| 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 | 6 | 9 | ГД | Л, |
| Тема 14. Процессы переработки нефти, крекинг, риформинг. Использование процессов адсорбции в нефтеперерабатывающей отрасли. | | 3 | | 12 | ИЛ | |
| Итого в семестре (на курсе для ЗАО) | | 16 | 32 | 69 | | |
| Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен) | | 2,5 | | 24,5 | | |
| Всего контактная работа и СР по дисциплине | | 84,75 | | 131,25 | | |

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. | |
| | Обосновывает выбор адсорбента для конкретной системы и оборудование для проведения процесса. | Вопросы для устного собеседования |
| | Предлагает физико-химические и технологические методы анализа адсорбентов, прогнозирует использование адсорбционных аппаратов. | Практико-ориентированные задания |
| 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) | Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу. Качество исполнения всех элементов задания полностью соответствует всем требованиям. | |
| 4 (хорошо) | Ответ полный, основанный на проработке всех обязательных источников информации. Подход к материалу ответственный, но стандартный. Индивидуальное задание выполнено в достаточном объеме, но ограничивается только основными подходами. | |
| 3 (удовлетворительно) | 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. Задание выполнено полностью, но в работе есть отдельные существенные ошибки, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием. | |
| 2 (неудовлетворительно) | Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубое нарушение правил оформления или сроков представления работы. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств или пользования подсказкой другого человека (вне зависимости от успешности такой попытки). Представление чужой работы, плагиат, либо отказ от представления работы. | |
| Зачтено | Обучающийся твердо знает материал дисциплины, грамотно и по существу излагает его, владеет профессиональной терминологией, | |

| | | |
|------------|--|--|
| | 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 2 | |
| 1 | Мономолекулярная адсорбция. Уравнение Ленгмюра, Фрейндлиха. |
| 2 | Теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета, Теллера. Достоинства и недостатки. |
| 3 | Применение уравнения БЭТ для изучения удельной поверхности сорбента. |
| 4 | Способы определения объёма пор и их распределения по размеру, ртутная порометрия. |
| 5 | Типы адсорбции, физическая, хемосорбция, ионный обмен. |
| 6 | Основные способы определения общей и удельной поверхности сорбентов и катализаторов. |
| 7 | Уравнения массоотдачи и массопередачи. Материальный баланс адсорбера, рабочая линия процесса. |
| 8 | Адсорбция. Определения, основные понятия. Виды адсорбции. Десорбция. |
| 9 | Свойства сорбентов. Насыпная плотность, удельная поверхность, удельный объём пор, распределение пор по размеру, предельная сорбция, энтальпия и энтропия сорбции, гидравлическое сопротивление слоя. Способы выражения количества поглощённого вещества. |
| 10 | Общее описание сорбционных процессов. Динамические и статические режимы сорбции. Приведённая скорость движения газа или жидкости. Расходы компонентов и материальный баланс процесса. |
| 11 | Основные стадии работы сорбционной установки. |
| 12 | Общая схема устройства и работы адсорбционной установки. |
| 13 | Изотерма сорбции, её значение для исследования свойств веществ, анализа и сорбционной очистки. |
| 14 | Основные виды изотерм сорбции. |
| 15 | Способы измерения изотерм сорбции в жидких и газовых средах. |
| Семестр 3 | |
| 16 | Скорость адсорбции и способы её вычисления. |
| 17 | Выходная кривая динамической адсорбции, время защитного действия. |
| 18 | Материальный баланс адсорбера, рабочая линия процесса, расчёт числа теоретических ступеней. |
| 19 | Сорбенты на основе пористого оксида алюминия, способы получения, основные свойства. |
| 20 | Сорбенты на основе силикагеля, способы получения, свойства. |
| 21 | Цеолиты (молекулярные сита) природные и синтетические, способы получения, свойства. |
| 22 | Углеродные сорбенты, активированный уголь, углеродные волокна, сажи, способы получения, структура, основные свойства. |
| 23 | Новые формы углеродных сорбентов. Циркулены, фуллерены, углеродные нанотрубки, стеклоуглерод, филаментарный углерод, углерод-углеродные композиционные материалы. Углеродные носители катализаторов. |
| 24 | Короткоцикловая безнагревная адсорбция, преимущества и область применения. |
| 25 | Адсорбционные процессы для очистки промышленных выбросов и сбросов. |
| 26 | Процессы переработки нефти, крекинг, риформинг. Использование процессов адсорбции в нефтеперерабатывающей отрасли. |

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 м³/ч. Начальная концентрация бензина $C_0=0.02$ кг/м³. 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/м³. Продолжительность десорбции. Сушки и охлаждения адсорбента составляет 1,45 ч.

2. Определить длину зоны массопередачи неподвижного слоя цеолита NaA ($d_z = 0.002$ м) и рабочую высоту колонного аппарата для процесса глубокой осушки газов ($C_{пр} = 2,94 \cdot 10^{-6}$ кг/м³) при следующих условиях: высота неподвижного слоя 0,26 м, $C_0 = 0,01$ кг/м³, скорость паровоздушного потока, отнесенная к полному сечению аппарата, 0,5 м/с, $t_{нас} = 190$ мин, $t = 110$ мин.

3. Адсорбция некоторого газа на поверхности твердого тела описывается изотермой Лэнгмюра и при 250^оС характеризуется константой адсорбционного равновесия $K=0,85$ кПа⁻¹. 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 |
|---|---|---|-------------|---|
| 6.1.1 Основная учебная литература | | | | |
| Панов В. П., Витковская Р. Ф. | Адсорбционно-каталитические процессы в защите окружающей среды | СПб.: СПбГУПТД | 2013 | http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1762 |
| Панов В. П., Бусыгин Н. Ю. | Инженерная защита окружающей среды | СПб.: СПбГУПТД | 2014 | http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2049 |
| Колпакова, Н. А., Минакова, Т. С. | Термодинамика и кинетика сорбционного концентрирования. Ч.1 | Томск: Томский политехнический университет | 2021 | https://www.iprbookshop.ru/134303.html |
| 6.1.2 Дополнительная учебная литература | | | | |
| Новиков, В. К. | Экология и инженерная защита окружающей среды | Москва: Московская государственная академия водного транспорта | 2020 | http://www.iprbookshop.ru/97330.html |
| Гребенников С. Ф., Эльтеков Ю. А. | Сорбция в полимерных системах | СПб.: СПбГУПТД | 2014 | http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=1967 |
| Мешалкин, А. В., Дмитриева, Т. В., Шемель, И. Г., Маньшина, И. В. | Экологическое состояние атмосферы | Саратов: Ай Пи Ар Букс | 2015 | http://www.iprbookshop.ru/33871.html |
| Дворецкий, С. И., Дворецкий, Д. С., Акулинин, Е. И., Голубятников, О. О. | Моделирование и оптимизация циклических адсорбционных процессов для разделения и очистки газовых смесей | Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ | 2021 | https://www.iprbookshop.ru/123030.html |

| | | | | |
|--|--|---------------------------|------|---|
| О. В. Асташкина, А. А. Лысенко, Н. Ф. Уварова, Д. А. Петрова | Практические аспекты сорбционных процессов | Санкт-Петербург: СПбГУПТД | 2022 | http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=202245 |
|--|--|---------------------------|------|---|

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

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

Лаборатория инструментальных методов анализа, которая оснащена приборами: спектрофотометры СФ-2000, ИК Фурье ФСМ-1201; Спектроскан МАКС-GV; жидкостный хроматограф ЦВЕТ-4000; анализатор углерода ТОПАЗ С (все приборы с компьютерным управлением); лабораторные стенды.

| 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 |