

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 29.06.2023 11:20:54  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Врио проректора по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В. Пекаревский  
« 24 » мая 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Научные основы катализа и адсорбции**

Направление подготовки

**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата

**«Химическая технология неорганических веществ»**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химии веществ и материалов**

Кафедра **общей химической технологии и катализа**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность разработчика	Подпись	Ученое звание, инициалы, фамилия
Доцент Доцент		ст.н.с. Н.В. Мальцева доцент О.А. Черемисина

Рабочая программа дисциплины «Научные основы катализа и адсорбции» обсуждена на заседании кафедры Общей химической технологии и катализа протокол от «13» мая 2021 г. № 9

Заведующий кафедрой

А.Ю. Постнов

Одобрено учебно-методической комиссией факультета Химии веществ и материалов протокол от «20» мая 2021 г. № 8

Председатель

С.Г. Изотова

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология»		М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко





## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	04
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.....	06
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины .....	07
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	07
4.2. Занятия лекционного типа.....	07
4.3. Занятия семинарского типа .....	11
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	11
4.3.2. Лабораторные занятия .....	12
4.4. Самостоятельная работа .....	13
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.....	14
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	14
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	15
8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.....	16
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	16
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине .....	17
10.1. Информационные технологии .....	17
10.2. Программное обеспечение .....	17
10.3. Базы данных и информационные справочные системы.....	17
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	17
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.....	17
Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации	

**1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.**

В результате для освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
<p><b>ПК-2</b> Способен использовать знания о составе, технологии производства и оценки качества производимой продукции</p>	<p><b>ПК-2.1</b> Обоснованный выбор технологии и принципиальных схем процесса изготовления разрабатываемых инновационных катализаторов</p>	<p><b>Знать:</b> – основные научные теории катализа и адсорбции; – функциональные характеристики пористых тел – адсорбентов и катализаторов, методы определения; <b>Уметь:</b> – определять области протекания адсорбционного и каталитического процессов; – определять функциональные характеристики адсорбентов и катализаторов с использованием различного исследовательского оборудования; <b>Владеть:</b> – навыками сопоставления экспериментальных и расчетных данных адсорбционного и каталитического процессов; – навыками определения достоверности функциональных характеристик адсорбентов и катализаторов.</p>
	<p><b>ПК-2.2</b> Кислотно-основной катализ</p>	<p><b>Знать:</b> – теоретические основы гомогенного и гетерогенного кислотно-основного катализа; <b>Уметь:</b> – определять спектр кислотно-основных свойств поверхности катализаторов; <b>Владеть:</b> – навыками направленного регулирования кислотно-основных свойств поверхности гетерогенного катализатора.</p>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (дескрипторы)
	<p><b>ПК-2.3</b> Гетерогенный катализ металлами и сплавами</p>	<p><b>Знать:</b> – теоретические основы гетерогенного катализа металлами и сплавами; <b>Уметь:</b> – определять дисперсность каталитически активных компонентов структуре катализаторов; <b>Владеть:</b> – навыками направленного регулирования активности и селективности нанесённого катализатора.</p>
	<p><b>ПК-2.4</b> Гетерогенный катализ оксидами и сульфидами металлов</p>	<p><b>Знать:</b> – каталитические свойства оксидов и сульфидов металла; <b>Уметь:</b> – обосновывать методики внедрения активных компонентов структуру катализаторов; <b>Владеть:</b> – навыками корреляции каталитических свойств гетерогенных оксидных и сульфидных катализаторов с их текстурными характеристиками.</p>

## 2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.04), и изучается на 3 курсе в 6 семестре и на 4 курсе в 7 семестре.

В методическом плане дисциплина опирается на элементы компетенций, сформированные при изучении дисциплин «Математика», «Общая и неорганическая химия», «Общая химическая технология», «Процессы и аппараты химической технологии», «Физическая химия», «Гетерогенные процессы технологии неорганических веществ», «Технология малотоннажных продуктов», «Научные основы катализа и адсорбции». Полученные в процессе изучения дисциплины «Кинетика процессов технологии неорганических веществ» знания, умения и навыки могут быть использованы при изучении дисциплин «Технология минеральных удобрений», «Технология катализаторов», «Технологическое оборудование», при прохождении преддипломной практики, а также при выполнении выпускной квалификационной работы.

## 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, ЗЕ/академ. часов
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/академических часов)	<b>10/360</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>194</b>
занятия лекционного типа	68
занятия семинарского типа, в т.ч.:	100
семинары, практические занятия (в т.ч. на практическую подготовку)	16 (10)
лабораторные работы (в т.ч. на практическую подготовку)	84 (24)
курсовое проектирование (КР или КП)	16
КСР	10
другие виды контактной работы	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>94</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (К/р, реферат, РГР, эссе)	–
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	<b>КР, экзамен/72</b>



#### 4. Содержание дисциплины.

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

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, акад. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы			
1.	Физико-химические основы катализа и его значение	8	2	–	6	ПК-2	ПК-2.1
2.	Сущность каталитического действия	8	2	–	6	ПК-2	ПК-2.1
3.	Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитических процессах	12	2	6	12	ПК-2	ПК-2.1
4.	Кислотно-основной катализ	6	–	8	10	ПК-2	ПК-2.2
5.	Металлокомплексный катализ	4	–	–	8	ПК-2	ПК-2.3
6.	Гетерогенный катализ металлами и сплавами	8	2	8	10	ПК-2	ПК-2.3
7.	Гетерогенный катализ оксидами и сульфидами металлов	6	4	8	10	ПК-2	ПК-2.4
8.	Гетерогенные металлорганические катализаторы	2	–	–	6	ПК-2	ПК-2.3 ПК-2.4
9.	Основные каталитические процессы в промышленности	4	4	12	10	ПК-2	ПК-2.1
10.	Функциональные характеристики пористых тел – адсорбентов и катализаторов	4	–	36	8	ПК-2	ПК-2.4
11.	Основы кинетики гетерогенных каталитических реакций	6	–	6	8	ПК-2	ПК-2.1

##### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Иновационная форма
1	Физико-химические основы катализа и его значение. Катализ, его роль в развитии промышленности. Каталитические процессы в природе и промышленности. Современное состояние теории катализа и ее основные задачи; проблемы научного предвидения каталитического действия. Показатели активности, селективности и	8	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	стабильности катализаторов. Классификации катализаторов и каталитических процессов. Важнейшие промышленные катализаторы и каталитические процессы.		
2	<p><u>Сущность каталитического действия.</u>  Факторы каталитического ускорения реакций. Катализ и равновесие. Каталитический цикл. Механизмы каталитических реакций. Принципы активации в катализе. Стадийный и слитный механизмы катализа. Формы промежуточного взаимодействия реагентов с катализатором. Роль энергетического и структурного факторов. Гомогенный катализ в газовой и в жидкой фазах. Цепные реакции. Гетерогенный катализ, основные стадии. Энергетический профиль гетерогенной каталитической реакции. Отравление катализаторов. Каталитические яды и механизмы отравления. Теория активных центров в гетерогенном катализе. Основы мультиплетной теории катализа Баландина. Теория активных ансамблей Кобозева.</p>	8	ЛВ
3	<p><u>Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитических процессах.</u>  Адсорбция (особенности физической и химической адсорбции). Адсорбент, адсорбат, адсорбтив. Динамический характер адсорбции. Процессы на поверхности адсорбента. Изотермы адсорбции Генри и Ленгмюра. Уравнения мономолекулярной адсорбции. Полимoleкулярная адсорбция. Уравнение изотермы адсорбции Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ).  Изотермы адсорбции в мезопористых твердых телах. Капиллярная конденсация. Форма экспериментальных изотерм адсорбции. Сорбционные свойства твердых тел и их каталитическая активность: в окислительно-восстановительных реакциях, в кислотном катализе.</p>	12	ЛВ
4	<p><u>Кислотно-основной катализ.</u>  Общий и специфический катализ. Кинетика кислотно-основных каталитических реакций. Соотношение Бренстеда.  Гомогенный и гетерогенный кислотный катализ. Бренстедовские и льюисовские кислотные центры. Корреляция каталитических</p>	6	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	свойств с кислотно-основными свойствами поверхности пор. Цеолиты в кислотном катализе. Молекулярно-ситовой катализ.		
5	<u>Металлокомплексный катализ.</u> Роль гомогенного металлокомплексного катализа в современной промышленности. Основные типы комплексов металлов. Кластеры. Роль лигандов и растворителя в стабилизации структуры комплексов. Комплексообразование как основная стадия активации реагирующих молекул. Ключевые стадии перегруппировок металлоорганических соединений: Каталитический цикл как последовательность ключевых стадий. Координационная способность металлов и каталитическая активность в окислительно-восстановительных и в кислотно-основных реакциях.	4	ЛВ
6	<u>Гетерогенный катализ металлами и сплавами.</u> Состав, структура и активные центры катализаторов. Основные факторы, определяющие каталитическую активность металлов. Магнитные свойства, работа выхода электрона и каталитические свойства переходных металлов. Нанесенные металлические катализаторы. Взаимодействие металл-носитель. Зависимость каталитических свойств нанесенного металла от его дисперсности. Окислительно-восстановительный катализ на металлах. Электронная теория катализа. Теория валентных связей. Механизмы реакций. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные реакции. Важнейшие промышленные процессы, катализируемые металлами и сплавами. Бифункциональный гетерогенный катализ. Биметаллические катализаторы риформинга. Металлические и металлоподобные катализаторы. Металлзамещенные цеолиты в катализе.	8	ЛВ
7	<u>Гетерогенный катализ оксидами и сульфидами металлов.</u> Каталитические свойства оксидов и сульфидов металлов Активация кислорода твердыми оксидами металлов. Классификация механизмов каталитического окисления. Стадийный и слитный механизмы. Связь селективности с энергией связи кислорода с	6	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	поверхностью катализатора. Активация углеводов в реакциях окисления. Корреляция каталитических свойств гетерогенных оксидных катализаторов с их текстурными характеристиками.		
8	<u>Гетерогенные металлоорганические катализаторы.</u> Катализаторы Циглера – Натта. Образование активных центров. Полимеризация олефинов на гетерогенных катализаторах. Механизм роста и обрыва полимерной цепи. Принципы стереорегулирования при полимеризации. Технология полимеризации. Суспензионная и газофазная полимеризация. Имобилизированные ферменты и металлокомплексы. Особенности текстуры гетерогенных металлоорганических катализаторов.	2	ЛВ
9	<u>Основные каталитические процессы в промышленности.</u> Катализаторы и условия реализации процессов. Каталитические процессы в нефтепереработке и нефтехимии: крекинг, риформинг, изомеризация, алкилирование и дегидрирование алканов. Каталитическая конверсия природного газа. Получение водорода. Синтез Фишера – Тропша. Синтез метанола и диметилового эфира. Синтез аммиака и азотной кислоты. Синтез серной кислоты. Синтез оксида этилена. Современные каталитические технологии в энергетике. Каталитические процессы для защиты окружающей среды.	4	ЛВ
10	<u>Функциональные характеристики пористых тел – адсорбентов и катализаторов.</u> Корпускулярные и губчатые пористые тела. Классификация пор по размерам и форме. Основные текстурные характеристики адсорбентов и катализаторов. Параметры пористой структуры: пористость, удельные площадь поверхности и суммарный объем пор, характерные размеры и распределение объема пор по размерам. Функциональные поверхностные свойства пористых тел, их роль в процессах адсорбции, катализа. Насыпная, кажущаяся и истинная плотности пористых тел. Геометрические параметры (форма и зернение), механическая прочность. Взаимосвязь текстурных характеристик и их	4	ЛВ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	роль в реализации процессов адсорбции и катализа. Методы определения основных параметров пористой структуры адсорбентов и катализаторов: объемов пор (суммарного, мезо- и макро-); применение метода БЭТ для расчетов удельной поверхности пористых тел.		
11	<u>Основы кинетики гетерогенных каталитических реакций.</u> Определение активности и селективности катализатора. Элементарный акт (стадия) химического превращения. Лэнгмюровская кинетика каталитических реакций. Законы действующих масс и действующих поверхностей в химической кинетике. Адсорбционный механизм (механизм Лэнгмюра – Хиншельвуда). Ударный механизм реакции (Механизм Или – Ридила). Кинетика сложных каталитических реакций по Темкину. Маршруты реакции. Стехиометрические числа реакции. Лимитирующая стадия. Уравнение Тёмкина – Пыжёва.	6	ЛВ

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
1	Расчет показателей активности и селективности катализаторов по опытными данным	2		КтСм
2	Сравнительная оценка активности катализаторов в оксидной и металлической форме по опытными данным испытаний в процессе окисления СО	2	2	ПТ
3	Выбор на основании адсорбционно-структурных характеристик носителя низкотемпературного катализатора очистки воздуха от микропримесей в присутствии паров воды	2	2	ПТ
6	Расчет доли поверхности пористых оксидных носителей, занимаемой платиной в атомарном и кластерном состоянии	2		ПТ
7	Построение температурных кривых	4	2	ПТ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
	окисления СО оксидными катализаторами переменного состава и выбор оптимального содержания активного компонента			
9	Сопоставительный расчет газодинамического сопротивления и производительности каталитического нейтрализатора выхлопных газов автотранспорта в блочном и гранулированном исполнении	4	4	ПТ

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
3	Определение адсорбционной активности высокодисперсных пористых тел в статических и динамических условиях	6		Групповая дискуссия
4	Каталитическое алкилирование изобутана изобутиленом. Испытания гетерогенных кислотных катализаторов	8	8	Групповая дискуссия
6	Каталитическое окисление монооксида углерода, водорода. Испытания нанесенных металлических катализаторов	8	8	Групповая дискуссия
7	Каталитическое окисление диоксида серы. Испытания ванадиевых катализаторов	8	8	Групповая дискуссия
9	Каталитическое окисление аммиака. Испытания железных катализаторов	12		Групповая дискуссия
10	Определение значений насыпной, кажущейся и истинной плотностей пористых тел. Их взаимосвязь и роль в реализации процессов адсорбции и катализа	4		Групповая дискуссия
10	Основные характеристики пористой структуры адсорбентов и катализаторов. Экспресс-методы определения объемов пор: суммарного, мезо- и макропор	8		Групповая дискуссия
10	Площадь удельной поверхности дисперсных материалов. Методы	4		Групповая дискуссия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
	определения			
10	Изотермы сорбции азота как инструмент исследования текстурных параметров пористых тел	8		Групповая дискуссия
10	Прочностные свойства сорбентов, носителей, катализаторов. Методы определения	4		Групповая дискуссия
10	Функциональные поверхностные свойства пористых тел, их роль в процессах адсорбции, катализа. Методы оценки	8		Групповая дискуссия
11	Оценка влияния параметров слоя адсорбента, катализатора на их газодинамические, сорбционные и кинетические характеристики	6		Групповая дискуссия

#### 4.4. Самостоятельная работа.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	Основные задачи теории катализа	3	Устный или письменный опрос
1	Проблемы научного предвидения каталитического действия	3	Устный или письменный опрос
2	Причины каталитического ускорения реакций	6	Устный или письменный опрос
3	Сорбционные свойства твердых тел и каталитическая активность в окислительно-восстановительных реакциях	6	Устный или письменный опрос
3	Сорбционные свойства твердых тел и активность в кислотно-основном катализе	6	Устный или письменный опрос
4	Корреляция каталитических свойств с кислотно-основными свойствами поверхности пористых тел	4	Устный или письменный опрос
4	Гетерогенизированные кислотные катализаторы	3	Устный или письменный опрос
4	Цеолиты в кислотном катализе	3	Устный или письменный опрос
5	Координационная способность металлов и каталитическая активность в кислотно-основных реакциях. Координационная способность	8	Устный или письменный опрос

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
	металлов и каталитическая активность в окислительно-восстановительных реакциях		
6	Гетерогенный катализ металлами и сплавами. Металлические и металлоподобные катализаторы. Металлзамещенные цеолиты	10	Устный или письменный опрос
7	Корреляция каталитических свойств гетерогенных оксидных катализаторов с их текстурными характеристиками. Связь между активностью и селективностью гетерогенных сульфидных катализаторов	10	Устный или письменный опрос
8	Гетерогенные металлорганические катализаторы. Особенности текстуры гетерогенных металлоорганических катализаторов	6	Устный или письменный опрос
9	Каталитическое дегидрирование углеводородов. Каталитический крекинг углеводородов. Каталитическая денитрификация отходящих газов теплоэнергетических производств	10	Устный или письменный опрос
10	Функциональные характеристики пористых тел-адсорбентов и катализаторов. Основные технические характеристики катализаторов и носителей, их взаимосвязь и методы определения	8	Устный или письменный опрос
11	Основы кинетики гетерогенных каталитических реакций. Лэнгмюровская кинетика каталитических реакций. Закон действующих масс в химической кинетике. Закон действующих поверхностей	8	Устный или письменный опрос

### **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине.**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению, размещены в электронной информационно-образовательной среде СПбГТИ(ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>

### **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена (6 и 7 семестр) и защиты курсовой работы (6 семестр).

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется теоретическими вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и комплексная задача (для проверки умений и навыков).

При сдаче экзамена обучающийся получает два вопроса из перечня вопросов (время подготовки к устному ответу – 45 минут).

Пример варианта вопросов на экзамене:

<p>Вариант № 1</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Классификации катализаторов и каталитических процессов.</li> <li>2. Основные факторы, определяющие каталитическую активность металлов.</li> </ol>
--



Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций достигнут пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе – оценка «удовлетворительно».

## **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.**

### **а) печатные издания:**

1. Пахомов, Н.А. Научные основы приготовления катализаторов. Введение в теорию и практику / Н.А. Пахомов; отв. ред. В.А. Садыков; Российская академия наук. Сибирское отделение. Институт катализа имени Г.К. Борескова. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2011. – 2011. – 262 с. – ISBN 978-5-7692-1185-0

2. Чоркендорф, И. Современный катализ и химическая кинетика / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт; перевод с англ. В.И. Ролдугина. – Долгопрудный: Интеллект, 2010. – 501 с. – ISBN 978-5-91559-044-0

3. Мальцева, Н.В. Исследование влагопоглощительной способности катализаторов: методические указания / Н.В. Мальцева, Т.А. Вишневская, Ю.В. Александрова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2011. – 49 с.

4. Мальцева, Н.В. Получение блочных катализаторов конверсии углеводородов: методические указания / Н.В. Мальцева, С.А. Лаврищева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 36 с.

5. Мальцева, Н.В. Определение механической прочности наноструктурированных пористых тел: катализаторов, носителей и сорбентов: методические указания к лабораторным работам / Н.В. Мальцева, Ю.В. Александрова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 58 с.

### **б) электронные учебные издания:**

6. Буданов, В.В. Химическая кинетика: Учебное пособие для вузов по направлениям подготовки «Химическая технология», «Биотехнология», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» / В.В. Буданов, Т.Н. Ломова, В.В. Рыбкин. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2021. – 288 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-1542-7 // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: по подписке.

7. Мальцева, Н.В. Получение блочных катализаторов конверсии углеводородов: методические указания / Н.В. Мальцева, С.А. Лаврищева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 36 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

8. Мальцева, Н.В. Получение катализаторов в виде тонкослойных покрытий металлических и керамических носителей: методические указания / Н.В. Мальцева, А.Ю.

Постнов, Т.А. Вишневецкая; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2011. – 62 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

9. Мальцева, Н.В. Определение механической прочности наноструктурированных пористых тел: катализаторов, носителей и сорбентов: методические указания к лабораторным работам / Н.В. Мальцева, Ю.В. Александрова; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). Кафедра общей химической технологии и катализа. – Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), 2012. – 58 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 01.04.2021). – Режим доступа: для зарегистрированных пользователей.

#### **8. Перечень электронных образовательных ресурсов, необходимых для освоения дисциплины.**

Учебный план, РПД и учебно-методические материалы: <http://media.technolog.edu.ru>;

Электронно-библиотечные системы:

– «Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

– ЭБС «Лань» <https://e.lanbook.com/books/>.

#### **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Все виды занятий по дисциплине «Научные основы катализа и адсорбции» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

СТП СПбГТИ 040–02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018–2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048–2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ 020–2011. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лабораторные занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ(ТУ) 044–2012. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Курсовой проект. Курсовая работа. Общие требования.

СТП СПбГТИ 016–2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов являются:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.**

### **10.1. Информационные технологии.**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование информационных технологий:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- взаимодействие с обучающимися посредством электронной почты.

### **10.2. Программное обеспечение.**

Пакеты прикладных программ стандартного набора (LibreOffice, MathCAD).

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

- справочно-поисковая система «Консультант-Плюс»;
- база данных Reaxys <https://www.reaxys.com>

## **11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Кафедра Общей химической технологии и катализа оснащена необходимым научно-исследовательским оборудованием, измерительными и вычислительными комплексами и другим материально-техническим обеспечением, необходимым для полноценного лабораторных работ, существует возможность использования оборудования Центров коллективного пользования СПбГТИ(ТУ) и Лаборатории каталитических технологий. Компьютеры кафедры и аудиторий № 205, 209, 210 соединены в локальную вычислительную сеть с выходом в Интернет через сервер, подключенный к сети института.

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ(ТУ), утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
«Научные основы катализа и адсорбции»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования.**

Индекс компетенции	Содержание	Этап формирования
<b>ПК-2</b>	<b>Способен использовать знания о составе, технологии производства и оценки качества производимой продукции</b>	промежуточный



## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-2.1 Обоснованный выбор технологии и принципиальных схем процесса изготовления разрабатываемых инновационных катализаторов	<b>Знает</b> основные научные теории катализа и адсорбции	Вопросы к экзамену № 1-14, 85,15-23, 93-97, выполнение курсовой работы	Перечисляет основные научные теории катализа и адсорбции	Рассказывает о сущности каталитического действия и факторах каталитического ускорения реакций	Рассказывает теорию активных центров в гетерогенном катализе и основы мультиплетной теории
	<b>Знает</b> функциональные характеристики пористых тел – адсорбентов и катализаторов, методы определения	Вопросы к экзамену № 26, 86-91, выполнение курсовой работы.	Перечисляет характеристики пористых тел – адсорбентов и катализаторов, методы определения	Рассказывает об основных текстурных характеристиках адсорбентов и катализаторов	Рассказывает о функциональных поверхностных свойствах пористых тел, их роли в процессах адсорбции, катализа
	<b>Умеет</b> определять области протекания адсорбционного и каталитического процессов	Вопросы к экзамену № 92-97, выполнение курсовой работы.	Перечисляет области протекания адсорбционного и каталитического процессов	Рассказывает об областях протекания адсорбционного и каталитического процессов	Устанавливает связь между пористой структурой катализатора и областью протекания каталитического процесса
	<b>Умеет</b> определять функциональные характеристики адсорбентов и катализаторов с использованием различного исследовательского оборудования	Вопросы к экзамену № 24-37, выполнение курсовой работы.	По опытным данным определяет функциональные характеристики адсорбентов и катализаторов	Анализирует результаты определения функциональных характеристик адсорбентов и катализаторов.	Применяет метод БЭТ для расчетов удельной поверхности пористых тел
	<b>Владет</b> навыками сопоставления экспериментальных и расчетных данных адсорбционного и каталитического процессов	Вопросы к экзамену № 24-37, выполнение курсовой работы.	Может сопоставить экспериментальные и расчетные данные адсорбционного и каталитического процессов	Рассчитывает изотерму сорбции азота по экспериментальным данным	Без ошибок рассчитывает и анализирует изотерму сорбции азота по экспериментальным данным
	<b>Владет</b> навыками	Вопросы к экзамену	С ошибками	Анализирует	Без ошибок анализирует

	определения достоверности функциональных характеристик адсорбентов и катализаторов	№ 85-86, выполнение курсовой работы.	анализирует достоверность определения характеристик адсорбентов и катализаторов	достоверность определения функциональных характеристик адсорбентов и катализаторов, но делает незначительные ошибки	достоверность определения функциональных характеристик адсорбентов и катализаторов
<b>ПК-2.2</b> Кислотно-основной катализ	<b>Знает</b> теоретические основы гомогенного и гетерогенного кислотно-основного катализа	Вопросы к экзамену № 36-41, выполнение курсовой работы.	Перечисляет основные положения теории кислотно-основного катализа	Рассказывает основные положения теории гетерогенного кислотно-основного катализа	Рассказывает основные положения теории гетерогенного кислотно-основного катализа и приводит примеры
	<b>Умеет</b> определять спектр кислотно-основных свойств поверхности катализаторов	Вопросы к экзамену № 7-9, 36-41, выполнение курсовой работы.	Экспериментально определяет спектр кислотно-основных свойств поверхности катализаторов	Анализирует спектр кислотно-основных свойств поверхности катализаторов	Объясняет корреляцию каталитических свойств с кислотно-основными свойствами поверхности пористых тел
	<b>Владеет</b> навыками направленного регулирования кислотно-основных свойств поверхности гетерогенного катализатора	Вопросы к экзамену № 36-41, выполнение курсовой работы.	Перечисляет способы направленного регулирования кислотно-основных свойств поверхности катализатора	Анализирует способы направленного регулирования кислотно-основных свойств поверхности катализатора	Обосновывает связь каталитической активности с кислотно-основными свойствами поверхности катализатора
<b>ПК-2.3</b> Гетерогенный катализ металлами и сплавами	<b>Знает</b> теоретические основы гетерогенного катализа металлами и сплавами	Вопросы к экзамену № 42-80, выполнение курсовой работы	Перечисляет основные положения теории гетерогенного катализа металлами и сплавами	Рассказывает основные положения теории гетерогенного катализа металлами и сплавами	Рассказывает основные положения теории гетерогенного катализа металлами и сплавами и приводит примеры
	<b>Умеет</b> определять дисперсность каталитически активных компонентов в структуре катализаторов	Вопросы к экзамену № 42-58, выполнение курсовой работы	Использует методы определения дисперсности каталитически активных компонентов в структуре катализаторов	Выбирает экспериментальные методы определения дисперсности каталитически активных компонентов в структуре катализаторов	Анализирует и сопоставляет методы определения дисперсности каталитически активных компонентов в структуре катализаторов
	<b>Владеет</b> навыками	Вопросы к экзамену	Демонстрирует	Проводит расчет доли	Проводит расчет доли

	направленного регулирования активности и селективности нанесённого катализатора	№ 42-58 выполнение курсовой работы	возможности направленного регулирования активности и селективности нанесенного катализатора	поверхности пористых оксидных носителей, занимаемой платиной в атомарном и кластерном состоянии, но совершает ошибки	поверхности пористых оксидных носителей, занимаемой платиной в атомарном и кластерном состоянии
<b>ПК-2.4</b> Гетерогенный катализ оксидами и сульфидами металлов	<b>Знает</b> каталитические свойства оксидов и сульфидов металла	Вопросы к экзамену № 59-62, выполнение курсовой работы	Перечисляет с ошибками каталитические свойства оксидов и сульфидов металла	Перечисляет каталитические свойства оксидов и сульфидов металла	Перечисляет каталитические свойства оксидов и сульфидов металла, приводит примеры
	<b>Умеет</b> обосновывать методики внедрения активных компонентов структуру катализаторов	Вопросы к экзамену № 75-84, выполнение курсовой работы	Перечисляет методики внедрения активных компонентов структуру катализаторов	Строит температурную кривую окисления СО оксидными катализаторами и выбирает оптимальное содержания активного компонента	Анализирует температурную кривую окисления СО оксидными катализаторами и выбирает оптимальное содержания активного компонента
	<b>Владеет</b> навыками корреляции каталитических свойств гетерогенных оксидных и сульфидных катализаторов с их текстурными характеристиками	Вопросы к экзамену № 86-90, выполнение курсовой работы	Выполняет процедуру оценки влияния текстурных характеристик оксидных и сульфидных катализаторов на каталитические свойства	Устанавливает связь между активностью и селективностью гетерогенных сульфидных катализаторов	Демонстрирует корреляцию каталитических свойств гетерогенных оксидных катализаторов с их текстурными характеристиками и приводит примеры

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ).

По дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме защиты курсовой работы и в форме экзамена, шкала оценивания – балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»).



### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

#### 3.1 Типовые контрольные вопросы к экзамену

##### а) Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-2:

1. Исторические аспекты развития катализа.
2. Современное определение катализа.
3. Роль катализа в становлении и развитии современной промышленности.
4. Катализ и живая природа.
5. Факторы каталитического ускорения реакций.
6. Катализ и равновесие.
7. Понятие об активном компоненте катализатора, активном центре, окружении активного центра и носителя.
8. Каталитическая активность и способы ее выражения.
9. Понятие об активном центре катализатора.
10. Классификация катализаторов. Важнейшие промышленные катализаторы.
11. Классификация каталитических процессов. Важнейшие каталитические процессы в промышленности.
12. Общая схема механизма каталитических реакций. Каталитический цикл.
13. Принципы активации в катализе. Эффекты компенсации. Стадийный и слитный механизмы катализа.
14. Формы промежуточного взаимодействия реагентов с катализатором. Роль энергетического и структурного факторов.
15. Гомогенный катализ в газовой фазе. Катализаторы в цепных процессах.
16. Гомогенный катализ в жидкой фазе. Особенности протекания химических реакций в растворах.
17. Основные стадии гетерогенного каталитического процесса. Энергетический профиль гетерогенно-каталитической реакции.
18. Катализ, его особенности и роль в развитии промышленности.
19. Каталитические процессы в природе и промышленности.
20. Современное состояние теории катализа и задачи каталитической химии.
21. Основы мультиплетной теории катализа Баландина.
22. Теория активных ансамблей Кобозева. Расчет каталитической активности ансамблей.
23. Роль поверхности, пористой структуры и адсорбционных явлений в каталитической химии.
24. Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитическом процессе. Зависимость энергии хемосорбции от степени заполнения поверхности.
25. Связь селективности с энергией связи кислорода с поверхностью катализатора.
26. Адсорбция (особенности физической и химической адсорбции). Адсорбент, адсорбат и адсорбтив. Основные отличия физической и химической адсорбции.
27. Силы межмолекулярного взаимодействия при физической адсорбции. Прямые измерения поверхностных сил.
28. Динамический характер адсорбции.
29. Процессы на поверхности адсорбента. Среднее время «жизни» молекулы в адсорбированном состоянии.
30. Изотерма адсорбции Генри.
31. Изотерма адсорбции Лэнгмюра.
32. Уравнения мономолекулярной локализованной адсорбции (уравнение изотермы Фаулера – Гуггенгейма, уравнение Киселева).
33. Полимолекулярная адсорбция. Уравнение Френкеля – Хелси – Холла.
34. Полимолекулярная адсорбция. Уравнение изотермы адсорбции Брунауэра – Эммета – Теллера (БЭТ).

35. Изотермы адсорбции в мезопористых твердых телах. Капиллярная конденсация. Форма экспериментальных изотерм адсорбции.
36. Современное состояние теории адсорбции. Моделирование адсорбции на неоднородной поверхности. Адсорбционный численный и физический эксперименты.
37. Электронный механизм хемосорбции на полупроводниках.
38. Кислотно-основной гомогенный катализ. Общий и специфический катализ.
39. Кинетика кислотно-основных каталитических реакций. Соотношение Бренстеда.
40. Кислотный катализ. Кислоты и основания по Бренстеду и Льюису. Функция кислотности Гаммета.
41. Гетерогенные катализаторы кислотно-основного типа. Корреляция между кислотностью и активностью гетерогенных катализаторов.
42. Гетерогенный кислотный катализ. Бренстедовские и льюисовские кислотные центры. Молекулярно-ситовой катализ.
43. Гомогенный катализ металлокомплексами. Общие сведения.
44. Металлокомплексный катализ и его место в современной промышленности.
45. Основные типы комплексов металлов. Роль лигандов и растворителя.
46. Комплексообразование как основная стадия активации реагирующих молекул. Типы комплексов металлов с различными органическими молекулами.
47. Ключевые стадии перегруппировок металлорганических соединений: внедрение, окислительное присоединение, восстановительное элиминирование, реакции сдвига.
48. Окисление органических веществ на металлокомплексных катализаторах.
49. Гетерогенный катализ. Общие сведения. Энергетический профиль гетерогенной каталитической реакции.
50. Важнейшие промышленные процессы, катализируемые металлами и сплавами. Механизмы реакций.
51. Особенности катализа дисперсными металлами. Нанесенные металлические катализаторы. Взаимодействие металл-носитель.
52. Связь каталитической активности и дисперсности. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные реакции.
53. Типы гетерогенных катализаторов: Катализ металлами, оксидами и сульфидами переходных металлов.
54. Гетерогенный катализ металлами. Основные факторы, определяющие активность металлов.
55. Окислительно-восстановительный катализ. Катализ на металлах и полупроводниках. Общие факторы, определяющие активность металлического катализатора. Активность и дисперсность металлов.
56. Электронные представления в гетерогенном катализе. Электронная теория и каталитические свойства переходных металлов.
57. Теория валентных связей. Магнитные и каталитические свойства переходных металлов.
58. Работа выхода электрона и каталитические свойства переходных металлов и полупроводников.
59. Гетерогенный катализ оксидами металлов. Активация кислорода твердыми оксидами металлов. Полное и частичное окисление.
60. Классификация механизмов каталитического окисления. Примеры стадийного и слитного механизмов.
61. Гетерогенные катализаторы полного и селективного окисления. Примеры реакций.

62. Катализаторы Циглера – Натта. Образование активных центров, механизм роста и обрыва полимерной цепи, стереорегулирование.
63. Стереорегулирование в каталитических процессах.
64. Гидрирование. Природа стадий активации водорода и гидрируемого субстрата.
65. Полимеризация олефинов, основные интермедиаты.
66. Механизм формирования и природа активных комплексов на примере реакций изомеризации, карбонилирования и окисления.
67. Механизм каталитической реакции метатезиса олефинов.
68. Бифункциональный гетерогенный катализ. Катализаторы риформинга.
69. Окислительный аммонолиз пропилена. Механизм Грасселли.
70. Окисление сернистого газа.
71. Оксидные катализаторы в синтезе метанола. Окисление метанола в формальдегид и муравьиную кислоту.
72. Окисление бензола в фенол закисью азота.
73. Основные каталитические процессы органического синтеза.
74. Катализ сульфидами. Принцип действия катализаторов гидрообессеривания.
75. Важнейшие каталитические процессы в промышленности. Катализаторы и условия реализации процессов.
76. Каталитическая конверсия природного газа. Синтез водорода.
77. Синтез аммиака и азотной кислоты.
78. Каталитические процессы в нефтепереработке и нефтехимии: крекинг, риформинг, изомеризация, алкилирование и дегидрирование алканов.
79. Современные каталитические технологии в энергетике. Каталитическое сжигание топлива.
80. Каталитические процессы защиты окружающей среды. Устройство и функционирование автомобильных каталитических конвертеров.
81. Состав промышленных катализаторов. Модифицированные катализаторы. Смешанные катализаторы. Катализаторы на носителях.
82. Отравление катализаторов. Каталитические «яды» и механизм «отравления».
83. Способы количественной оценки «отравляемости» катализаторов. Коэффициент отравления (коэффициент токсичности «яда»).
84. Применение катализа в химической и нефтеперерабатывающей промышленности.
85. Применение метода БЭТ для расчетов удельной поверхности катализаторов и адсорбентов.
86. Определение супрамолекулярной структуры (текстуры) пористых и дисперсных материалов.
87. Пористая структура твердых тел. Корпускулярные и губчатые пористые тела. Форма частиц и пор в пористых твердых телах. Терминология и классификация пор по размерам.
88. Параметры пористой структуры адсорбентов и катализаторов. Методы исследования пористых структур (ртутно-вакуумная порометрия).
89. Состав катализаторов. Роль носителя. Примеры носителей и требования к ним.
90. Использование пористых углеродных материалов в качестве носителей для катализаторов.
91. Силикагель, оксид алюминия, цеолиты – адсорбенты и носителя для катализаторов.
92. Кинетика каталитических реакций. Определение активности и селективности катализатора. Элементарный акт (стадия) химического превращения.
93. Лэнгмюровская кинетика каталитических реакций. Закон действующих масс в химической кинетике. Закон действующих поверхностей.
94. Адсорбционный механизм (механизм Лэнгмюра – Хиншелвуда).

95. Ударный механизм каталитической реакции (механизм Или-Ридила).
96. Кинетика сложных каталитических реакций по Темкину. Маршруты реакции. Стехиометрические числа реакции. Лимитирующая стадия. Уравнение Темкина-Пыжева.
97. Теория активных центров в гетерогенном катализе. Теория активных центров Тейлора. Роль дефектов кристаллов в катализе.

К экзамену допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля. При сдаче экзамена студент получает два вопроса из перечня, приведенного выше. Время подготовки студента к устному ответу на вопросы – до 45 мин.

#### **4. Темы курсовых работ.**

1. Определение кинетических параметров процесса окисления аммиака.
2. Определение кинетических параметров процесса окисления СО.
3. Определение кинетических параметров процесса окисления водорода.
4. Определение кинетических параметров процесса паровой конверсии гептана.
5. Определение кинетических параметров процесса паровой конверсии природного газа.

#### **5. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТП СПбГИ 016–2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.