

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 12.09.2021 20:48:44  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84

**Рабочая программа дисциплины**  
**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ КАТАЛИЗА И АДСОРБЦИИ**  
**(начало подготовки – 2017 год)**

Направление подготовки  
**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата  
**Химическая технология неорганических веществ**

Профессиональный модуль  
**Химическая технология неорганических веществ**  
Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Заочная**

Факультет **химии веществ и материалов**  
Кафедра **общей химической технологии и катализа**

Санкт-Петербург

2017

**Б1.В.ДВ.03.01.02**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчики		профессор Нараев В.Н. ст.н.с. Мальцева Н.В.

Рабочая программа дисциплины «Научные основы катализа и адсорбции» обсуждена на заседании кафедры общей химической технологии и катализа  
протокол от 19 октября 2016 № 5  
Заведующий кафедрой

Е.А. Власов

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химии веществ и материалов  
протокол от 17 ноября 2016 № 3  
Председатель

С.Г. Изотова

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология» (неорганических веществ)		профессор А.А.Мальгин
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	05
3. Объем дисциплины .....	06
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	06
4.2. Занятия лекционного типа .....	07
4.3. Занятия семинарского типа .....	08
4.3.1. Семинары, практические занятия .....	08
4.3.2. Лабораторные занятия .....	08
4.4. Самостоятельная работа .....	10
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	12
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	12
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	13
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	14
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	14
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии .....	15
10.2. Программное обеспечение .....	15
10.3. Информационные справочные системы .....	15
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	15
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	15

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

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ОПК-2</b>	готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы	<p><b>Знать:</b> законы естественнонаучных дисциплин, методологию научного познания и научно-технического творчества, методы эмпирических и теоретических исследований в области адсорбции и катализа.</p> <p><b>Уметь:</b> применять знания естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения профессиональных задач, руководить измерениями, составлять описания проводимых исследований. в области адсорбции и катализа.</p> <p><b>Владеть:</b> методами математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования, теоретического и экспериментального исследования, навыками письменного аргументированного изложения собственной точки зрения в области адсорбции и катализа.</p>
<b>ПК-19</b>	готовность использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний, для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления	<p><b>Знать:</b> основные физические теории для решения возникающих физических задач в области адсорбции и катализа, самостоятельного приобретения физических знаний для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления</p> <p><b>Уметь:</b> использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач в</p>

		<p>области адсорбции и катализа, самостоятельного приобретения физических знаний для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления.</p> <p><b>Владеть:</b> знаниями основных физических теорий для решения возникающих физических задач применительно к адсорбции и катализу, самостоятельного приобретения физических знаний для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления.</p>
<b>ПК-20</b>	<p>готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования</p>	<p><b>Знать:</b> классификацию химической науки и научных исследований; новейшие достижения химической технологии в области адсорбции и катализа</p> <p><b>Уметь:</b> выявлять причинно-следственные связи событий, самостоятельно находить необходимую информацию, аргументировано защищать свою позицию применительно к адсорбции и катализу.</p> <p><b>Владеть:</b> методами литературного, патентного поиска научно-технической информации в области адсорбции и катализа, для изучения отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.</p>

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Научные основы катализа и адсорбции» относится к дисциплинам профессионального модуля по выбору (Б1.В.ДВ.03.01.02) и изучается на 3 курсе (сессия 3) и 4 курсе (сессия 3).

В методическом плане дисциплина опирается на компетенции, сформированные при изучении дисциплин на «Общая и неорганическая химия», «Органическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», «Физика», «Общая химическая технология», «Технология малотоннажных продуктов».

Полученные в процессе изучения дисциплины «Научные основы адсорбции и катализа» знания, умения и навыки используются при изучении дисциплин профессионального модуля «Химическая технология неорганических веществ», во время

прохождения преддипломной практики, при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3 Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Заочная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	<b>10 / 360</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>54</b>
занятия лекционного типа	18
занятия семинарского типа, в т.ч.	36
семинары, практические занятия	12
лабораторные работы	24
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	-
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b> (в т.ч. на выполнение КР)	<b>280 (50)</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе, др.)	<b>Кр5</b>
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен (18), зачёт(8), КР

### 4 Содержание дисциплины

#### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Физико-химические основы катализа и его значение	2	2	-	25	ОПК-2, ПК-20
2.	Сущность каталитического действия	2	2	-	33	ОПК-2, ПК-20
3	Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитических процессах	2	2	8	25	ОПК-2, ПК-20

4	Кислотно-основной катализ	2	-	8	25	ПК-19
5	Металлокомплексный катализ	-	-	-	25	ПК-19
6	Гетерогенный катализ металлами и сплавами	2	2	-	25	ПК-19
7	Гетерогенный катализ оксидами и сульфидами металлов	2	2	-	25	ПК-19
8	Гетерогенные металлорганические катализаторы	-		-	25	ПК-19
9	Основные каталитические процессы в промышленности	2	2	8	25	ПК-20
10	Функциональные характеристики пористых тел – адсорбентов и катализаторов	2	-	-	25	ПК-20
11	Основы кинетики гетерогенных каталитических реакций	2	-	-	22	ОПК-2 ПК-20

#### 4.2 Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. час	Инновационная форма
1	<u>Физико-химические основы катализа и его значение</u> 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.	2	Слайд-презентации
2.	<u>Сущность каталитического действия</u> Факторы каталитического ускорения реакций. Катализ и равновесие. Понятие о каталитическом цикле. Механизмы каталитических реакций. Принципы активации в катализе. Стадийный и слитный механизмы катализа. Формы промежуточного взаимодействия реагентов с катализатором. Роль энергетического и структурного факторов.	2	Слайд-презентации
3	<u>Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитических процессах</u> Адсорбция (особенности физической и химической адсорбции). Адсорбент, адсорбат и адсорбтив. Современное состояние теории адсорбции. Динамический характер адсорбции. Процессы на поверхности адсорбента	2	Слайд-презентации
4	<u>Кислотно-основной катализ.</u> Общий и специфический катализ. Кинетика кислотно-основных каталитических реакций. Соотношение Бренстеда.	2	Слайд-презентации
6	<u>Гетерогенный катализ металлами и сплавами.</u> Состав, структура и активные центры катализаторов. Основные факторы, определяющие	2	Слайд-презентации

	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.		
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.	2	Слайд-презентации
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.	2	Слайд-презентации
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.	2	Слайд-презентации
11	<u>Основы кинетики гетерогенных каталитических реакций.</u> Определение активности и селективности катализатора. Элементарный акт (стадия) химического превращения. Лэнгмюровская кинетика каталитических реакций.	2	Слайд-презентации

#### 4.3 Занятия семинарского типа

##### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<u>Физико-химические основы катализа и его значение</u> Расчет показателей активности и селективности катализаторов по экспериментальным данным, представленным в задании	2	Компьютерная симуляция
2	<u>Сущность каталитического действия</u> Сравнительная оценка производительности катализаторов в оксидной и металлической форме по экспериментальным данным их испытаний в процессе окисления CO, представленным в задании	2	Компьютерная симуляция



3	<u>Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитическом процессе</u> Обоснованный выбор на основании представленных адсорбционно-структурных характеристик оксидного носителя для низкотемпературного катализатора очистки воздуха от микропримесей в присутствии паров воды	2	
6	<u>Гетерогенный катализ металлами и сплавами</u> Расчет доли поверхности пористых оксидных носителей, занимаемой платиной в атомарном и кластерном состоянии.	2	
7	<u>Гетерогенный катализ оксидами и сульфидами металлов</u> Построение температурных кривых окисления CO оксидными катализаторами переменного состава и выбор оптимального содержания активного компонента.	2	
9	<u>Основные каталитические процессы в промышленности</u> Сопоставительный расчет газодинамического сопротивления и производительности бифункционального Pd-содержащего каталитического нейтрализатора выхлопных газов автотранспорта в блочном и гранулированном исполнении.	2	Компьютерная симуляция

#### 4.3.2. Лабораторные занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание лабораторной работы	Объем, акад. часы	Инновационная форма
3	Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитическом процессе -Определение адсорбционной активности высокодисперсных пористых тел в статических и динамических условиях	8	Лабораторный лист Групповая дискуссия*
4	Кислотно-основной катализ -Каталитическое алкилирование изобутана изобутином. Испытания гетерогенных кислотных катализаторов	8	Лабораторный лист Групповая дискуссия*
9	Основные каталитические процессы в промышленности -Каталитическое окисление аммиака. Испытания Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -катализаторов.	8	Лабораторный лист Групповая дискуссия*

\*Групповая дискуссия – обсуждение полученных результатов

#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
1	<u>Физико-химические основы катализа и его значение</u> Основные задачи теории катализа Проблемы научного предвидения каталитического действия. Показатели активности, селективности и стабильности катализаторов. Классификации катализаторов и каталитических процессов. Важнейшие промышленные катализаторы и каталитические процессы.	25	Контрольная работа № 1
2	<u>Сущность каталитического действия</u> Причины каталитического ускорения реакций. Гомогенный катализ в газовой и в жидкой фазах. Цепные реакции. Гетерогенный катализ, его основные стадии. Энергетический профиль гетерогенной каталитической реакции. Отравление катализаторов. Каталитические «яды» и механизмы «отравления». Теория активных центров в гетерогенном катализе. Основы мультиплетной теории катализа. Теория активных ансамблей Кобозева.	33	Контрольная работа № 2
3	<u>Роль физической адсорбции и хемосорбции в гетерогенно-каталитическом процессе</u> Сорбционные свойства твердых тел и каталитическая активность в окислительно-восстановительных реакциях. Сорбционные свойства твердых тел и активность в кислотно-основном катализе. Современное состояние теории адсорбции. Изотермы адсорбции Генри и Ленгмюра. Уравнения мономолекулярной локализованной адсорбции. Полимолекулярная 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 кислотно-основном катализе.	25	Контрольная работа № 1
4	<u>Кислотно-основной катализ</u> Корреляция каталитических свойств с кислотно-основными свойствами поверхности пористых тел. Гетерогенизированные кислотные катализаторы. Гомогенный и гетерогенный кислотный катализ. Бренстедовские и льюисовские кислотные центры. Корреляция каталитических свойств с кислотно-основными свойствами поверхности пор. Цеолиты в кислотном катализе. Молекулярно-ситовой катализ.	25	Контрольная работа № 3
5	<u>Металлокомплексный катализ</u>	25	Контрольная

	Координационная способность металлов и каталитическая активность в кислотно-основных реакциях. Координационная способность металлов и каталитическая активность в окислительно-восстановительных реакциях. 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.		работа № 3
6	<u>Гетерогенный катализ металлами и сплавами.</u> Металлические и металлподобные катализаторы. 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 металлподобные катализаторы. Металлзамещенные цеолиты в катализе.	25	Контрольная работа № 4
7	<u>Гетерогенный катализ оксидами и сульфидами металлов.</u> Связь между активностью и селективностью гетерогенных сульфидных катализаторов. Связь селективности с энергией связи кислорода с поверхностью катализатора. Активация углеводородов в реакциях селективного окисления. Корреляция каталитических свойств гетерогенных оксидных катализаторов с их текстурными характеристиками.	25	Контрольная работа № 4
8	<u>Гетерогенные металлоорганические катализаторы</u> -Особенности текстуры гетерогенных металлоорганических катализаторов. 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. Имобилизованные ферменты и металлокомплексы. Особенности текстуры гетерогенных металлоорганических катализаторов.	25	Контрольная работа № 4
9	<u>Основные каталитические процессы в</u>	25	Контрольная

	<u>промышленности</u> Каталитическая конверсия природного газа. Получение водорода. Синтез Фишера-Тропша. Синтез метанола и диметилового эфира. Синтез аммиака и азотной кислоты. Синтез серной кислоты. Синтез окиси этилена. Современные каталитические технологии в энергетике. Каталитические процессы для защиты окружающей среды. Каталитическое дегидрирование углеводов. Каталитический крекинг углеводов. Каталитическая денитрификация отходящих газов теплоэнергетических производств		работа № 5
10	<u>Функциональные характеристики пористых тел-адсорбентов и катализаторов</u> 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 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. Основные технические характеристики катализаторов и носителей, их взаимосвязь и методы определения.	25	Контрольная работа № 5
11	<u>Основы кинетики гетерогенных каталитических реакций</u> Законы действующих масс и действующих поверхностей в химической кинетике. Адсорбционный механизм (механизм Ленгмюра–Хиншеллуда). Ударный механизм реакции (Механизм Или-Ридила). Кинетика сложных каталитических реакций по Темкину. Маршруты реакции. Стехиометрические числа реакции. Лимитирующая стадия. Уравнение Темкина-Пыжева	22	Контрольная работа № 5

### **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**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена (3 курс, 4 курс), защиты курсовой работы (4 курс) и зачета (3 и 4 курс).

К прохождению промежуточной аттестации допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля.

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

При сдаче экзамена, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - 45 мин.

Зачет предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется вопросами (заданиями) двух видов: теоретический вопрос (для проверки знаний) и, вопрос, направленный на проверку умений и навыков.

При сдаче зачета, студент получает два вопроса из перечня вопросов, время подготовки студента к устному ответу - до 30 мин.

Пример варианта вопросов на экзамене:

**Вариант № 1**

- 1 Классификации катализаторов и каталитических процессов.
- 2 Основные факторы, определяющие каталитическую активность металлов.

Пример вариант вопросов на зачете:

**Вариант № 1**

- 1.Каталитическая конверсия природного газа
- 2.Определение удельной поверхности пористых тел.

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

### **а) основная литература:**

1. 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. - Электрон. текстовые дан. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2014. - 288 с. (ЭБС)

2. Пахомов, Н.А. Научные основы приготовления катализаторов. Введение в теорию и практику / Н.А. Пахомов; отв. ред. В.А. Садыков; Рос.акад. наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т катализа им.Г.К.Борескова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 262 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Чоркендорф, И.. Современный катализ и химическая кинетика. (пер. с англ.) 2-е изд./ Х. Наймантсведрайт – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2010. – 504 с.

2. Крылов, О.В. Гетерогенный катализ / О.В. Крылов. –М.: Академкнига, 2004. – 679 с.

3. Колесников, И.М. Катализ и производство катализаторов/ И.М.Колесников.- М.: «Техника», 2004. – 400 с.

4. Байрамов, В.М. Химическая кинетика и катализ. Примеры и задачи с решениями/ В.М.Байрамов.- М.: Academia, 2003. -252 с.
5. Фенелонов, В.Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов / В.Б. Фенелонов. – Новосибирск: Изд СО РАН, 2004.-440 с.
6. Байрамов, В.М. Основы химической кинетики и катализа. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.М. Байрамов. – М.: Изд. Центр «Академия», 2003. – 256 с.
7. Мальцева, Н.В. Исследование влагопоглощительной способности катализаторов : Методические указания / Н. В. Мальцева, Т. А. Вишневская, Ю. В. Александрова ; СПбГТИ(ТУ). Каф. общ. хим. технологии и катализа. - СПб. : [б. и.], 2011. - 49 с.
8. Мальцева, Н. В. Получение блочных катализаторов конверсии углеводородов : Методические указания / Н. В. Мальцева, С. А. Лаврищева ; СПбГТИ(ТУ). Каф. общ. хим. технологии и катализа. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : [б. и.], 2012. - 36 с. (ЭБ)

**в) вспомогательная литература:**

1. Иоффе, И.И. Гетерогенный катализ: физико-химические основы / И. И. Иоффе, В. А. Решетов, А. М. Добротворский. - Л. : Химия, 1985. - 224 с
2. Боресков, Г.К. Гетерогенный катализ / Г. К. Боресков. - М. : Наука, 1988. - 303 с.
3. Лич, Б. Катализ в промышленности. Т.1-2. Пер. с англ. / Под ред. Б. Лича. – М.: Мир, 1986. – 324 с.
4. Панченков, Г.М. Химическая кинетика и катализ: учебное пособие для химических и химико-технологических спец. вузов / Г. М. Панченков, В. П. Лебедев. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Химия, 1985. - 590 с.
5. Сеттерфилд, Ч. Практический курс гетерогенного катализа: научное издание / Ч. Сеттерфилд; пер. с англ. А. Л. Клячко, В. А. Швеца. - М. : Мир, 1984. - 520 с.

**8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», 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/>.

Полнотекстовая коллекция (база данных) электронных книг издательства Springer Nature с 2011 по 2017 год (46332 книги). <http://link.springer.com/>

База данных REAXYS . [www.reaxys.com](http://www.reaxys.com)

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

Все виды занятий по дисциплине 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 УКВД. 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 016-2014. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

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

На занятия студент должен приходить, имея багаж знаний и вопросов 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**

Microsoft Office (Microsoft Excel).

### **10.3 Информационные справочные системы**

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс».

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

Для ведения лекционных и практических занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники, на 15 посадочных мест.

Для проведения лабораторных занятий используется компьютерный класс, оборудованный персональными компьютерами, объединенными в сеть.

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 отдельный 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 28.08.2014г.

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

**1 Перечень компетенций и этапов их формирования**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
ОПК-2	Обладание готовностью использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы	промежуточный
ПК-19	Обладание готовностью использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач, самостоятельного приобретения физических знаний для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления	промежуточный
ПК-20	Обладание готовностью изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования	промежуточный

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

<b>Показатели оценки результатов освоения дисциплины</b>	<b>Планируемые результаты</b>	<b>Критерий оценивания</b>	<b>Компетенции</b>
Освоение разделов № 1, №2 и №3	Знает законы естественнонаучных дисциплин, методологию научного познания и научно-технического творчества, методы эмпирических и теоретических исследований в области адсорбции и катализа. Умеет применять знания естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения профессиональных задач, руководить измерениями, составлять описания проводимых исследований в области адсорбции и катализа. Владеет методами математического моделирования процессов и объектов на базе	Правильные ответы на вопросы № 1–37 к экзамену. Правильные ответы на вопросы №1-10 к зачёту. Выполнение курсовой работы	ОПК-2



	<p>стандартных пакетов автоматизированного проектирования, теоретического и экспериментального исследования, навыками письменного аргументированного изложения собственной точки зрения, в т.ч. в области адсорбции и катализа</p>		
	<p>Знает классификацию химической науки и научных исследований; новейшие достижения химической технологии в области адсорбции и катализа</p> <p>Умеет выявлять причинно-следственные связи событий, самостоятельно находить необходимую информацию, аргументировано защищать свою позицию применительно к адсорбции и катализу.</p> <p>Владеет методами литературного, патентного поиска научно-технической информации в области адсорбции и катализа для изучения отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.</p>	<p>Правильные ответы на вопросы № 64-97 к экзамену.</p> <p>Правильные ответы на вопросы №1-10 к зачёту.</p> <p>Выполнение курсовой работы</p>	ПК-20
Освоение разделов № 4, 6, 7, 8.	<p>Знает основные физические теории для решения возникающих физических задач в области адсорбции и катализа, самостоятельного приобретения физических знаний для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления</p> <p>Умеет использовать знания основных физических теорий для решения возникающих физических задач в области адсорбции и катализа, самостоятельного приобретения физических знаний для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления.</p> <p>Владеет знаниями основных физических теорий для решения возникающих физических задач применительно к адсорбции и катализу, самостоятельного приобретения физических знаний для понимания принципов работы приборов и устройств, в том числе выходящих за пределы компетентности конкретного направления.</p>	<p>Правильные ответы на вопросы № 38–63 к экзамену.</p> <p>Правильные ответы на вопросы №1-10 к зачёту.</p> <p>Выполнение курсовой работы</p>	ПК-19
Освоение разделов № 9, №10	<p>Знает классификацию химической науки и научных исследований; новейшие достижения химической технологии в области адсорбции и катализа.</p> <p>Умеет выявлять причинно-следственные связи событий, самостоятельно находить необходимую информацию, аргументировано защищать свою позицию применительно к</p>	<p>Правильные ответы на вопросы № 64-97 к экзамену.</p> <p>Правильные ответы на вопросы №1-10</p>	ПК-20

	адсорбции и катализу. Владеет методами литературного, патентного поиска научно-технической информации в области адсорбции и катализа для изучения отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.	к зачёту. Выполнение курсовой работы	
Освоение раздела № 11	Знает законы естественнонаучных дисциплин, методологию научного познания и научно-технического творчества, методы эмпирических и теоретических исследований в области адсорбции и катализа. Умеет применять знания естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для решения профессиональных задач, руководить измерениями, составлять описания проводимых исследований в области адсорбции и катализа. Владеет методами математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования, теоретического и экспериментального исследования, навыками письменного аргументированного изложения собственной точки зрения, в т.ч. в области адсорбции и катализа	Правильные ответы на вопросы № 1-37 к экзамену. Правильные ответы на вопросы №1-10 к зачёту. Выполнение курсовой работы	ОПК-2
	Знает классификацию химической науки и научных исследований; новейшие достижения химической технологии в области адсорбции и катализа Умеет выявлять причинно-следственные связи событий, самостоятельно находить необходимую информацию, аргументировано защищать свою позицию применительно к адсорбции и катализу. Владеет методами литературного, патентного поиска научно-технической информации в области адсорбции и катализа для изучения отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования.	Правильные ответы на вопросы № 64–97 к экзамену. Правильные ответы на вопросы №1-10 к зачёту. Выполнение курсовой работы	ПК-20

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме экзамена, результат оценивания –балльная система, защиты курсовой работы, результат оценивания –балльная система, в форме зачета, результат оценивания – «зачтено», «не зачтено».

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

#### **3.1 Типовые контрольные вопросы к экзамену:**

##### **а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-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.
- 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 Ленгмюра.
- 32 Уравнения мономолекулярной локализованной адсорбции (уравнение изотермы Фаулера – Гугенгейма, уравнение А.В.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.

**б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-19:**

- 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 металлоорганических 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 парциальное 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.
- в) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-20:**
- 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 Ленгмюровская кинетика каталитических реакций. Закон действующих масс в химической кинетике. Закон действующих поверхностей.
- 94 Кинетика и механизм Ленгмюра-Хиншелвуда и Или-Ридила. Адсорбционный механизм (механизм Ленгмюра–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 Тэйлора. Роль дефектов кристаллов в катализе.

### **3.2 Типовые контрольные вопросы к зачёту (ОПК-2, ПК-19, ПК-20):**

1. Определение значений насыпной плотности пористых твёрдых тел

2. Определение кажущейся плотности пористых твёрдых тел.
3. Определение истинной плотности пористых твёрдых тел
4. Роль пористости в реализации процессов адсорбции и катализа
5. Экспресс-методы определения объемов пор: суммарного, мезо- и макропор.
6. Определение площади удельной поверхности дисперсных материалов.
7. Изотермы сорбции азота как инструмент исследования текстурных параметров пористых тел.
8. Прочностные свойства сорбентов, носителей, катализаторов. Методы определения
9. Функциональные поверхностные свойства пористых тел, их роль в процессах адсорбции, катализа. Методы оценки.
10. Основные технические характеристики катализаторов и носителей, их взаимосвязь и методы определения.

### **3.3. Примерные темы курсовых работ (ОПК-2, ПК-19, ПК-20):**

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

### **3.4. Типовые задания для выполнения контрольных работ:**

1. Основные понятия химической кинетики. Простые и сложные реакции, молекулярность и скорость простой реакции
2. Активность катализатора. Связь активности с составом катализатора.
3. Физическая, химическая, активированная адсорбция. Их различия.
4. Ассоциативная и диссоциативная адсорбция молекул на идеальной поверхности. Конкурентная адсорбция. Вывод уравнений Ленгмюра.
5. Адсорбционная кинетика Ленгмюра – Хиншельвуда для простых и сложных каталитических реакций на идеальной поверхности
6. Ударный механизм Или –Ридела.
7. Особенности кинетики окисления углеводородов. Стадийный и слитный механизмы. Механизм Марса – Ван Кревелена.
8. Кинетика кислотно-основного жидкофазного катализа
9. Промежуточные соединения в жидкофазном катализе
10. Солевые эффекты: первичный и вторичный
11. Теория жидкофазного катализа
12. Катализ через комплексообразования. Электропроводность, перезарядка ионов
13. Электронный механизм промотирования и отравления полупроводников
14. Электронный механизм адсорбции на полупроводниках
15. Энергетические зоны собственных и примесных полупроводников

## **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями «Положения о формах, периодичности и порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся» ( Приказ ректора от 12.12.2014 № 463) и СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок проведения зачетов и экзаменов.

