

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 17.05.2022 17:16:09  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84

**Рабочая программа дисциплины**

**КАТАЛИЗ, КАТАЛИТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И РЕАКТОРЫ**

Направление подготовки

**18.03.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии,  
нефтехимии и биотехнологии**

Направленность образовательной программы

**Рациональное использование материальных, энергетических и водных ресурсов**

Профессиональный модуль

**Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	03
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы .....	03
3. Объем дисциплины .....	04
4. Содержание дисциплины	
4.1. Разделы дисциплины и виды занятий .....	04
4.2. Занятия лекционного типа .....	05
4.3. Занятия семинарского типа .....	08
4.3.1. Лабораторные занятия .....	08
4.4. Самостоятельная работа .....	09
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	09
6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	09
7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины .....	12
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	13
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины .....	13
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	
10.1. Информационные технологии .....	13
10.2. Программное обеспечение .....	13
10.3. Информационные справочные системы .....	13
11. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	14
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	14

Приложения: 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.

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

Для получения планируемых результатов освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Коды компетенции	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ОПК-3</b>	Способность использовать основные естественнонаучные законы для понимания окружающего мира и явлений природы	<b>Знать:</b> физико-химические закономерности адсорбционных явлений и их природу. <b>Уметь:</b> идентифицировать область протекания каталитического процесса по характеристическим критериям. <b>Владеть:</b> представлениями об основных проблемах и задачах катализа.
<b>ПК-14</b>	Способность применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в научно-исследовательской работе	<b>Знать:</b> методы анализа адсорбционных и каталитических процессов. <b>Уметь:</b> анализировать и интерпретировать результаты аппаратурных исследований катализаторов. <b>Владеть:</b> методиками проведения анализов катализаторов, сырья и продуктов каталитических реакций.
<b>ПК-15</b>	Способность планировать экспериментальные исследования, получать, обрабатывать и анализировать полученные результаты	<b>Знать:</b> области применения различных типов каталитических систем в промышленных химико-технологических процессах <b>Уметь:</b> анализировать каталитические процессы в режиме сбережения материальных и энергетических ресурсов. <b>Владеть:</b> знаниями о методиках приготовления и совершенствования катализаторов.

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы.

Дисциплина относится к профессиональному модулю по выбору Б.1.В.ДВ.01.01. «Рациональное использование материальных и энергетических ресурсов», является обязательной (Б.1.В.ДВ.01.01.02)» 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 «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Химические реакторы», «Органическая химия», «Неорганическая химия», «Коллоидная химия».

Полученные в процессе изучения дисциплины знания, умения и навыки могут быть использованы в научно-исследовательской работе бакалавра и при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. Объем дисциплины.

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b> (зачетных единиц/ академических часов)	6 / 216
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>110</b>
занятия лекционного типа	32
занятия семинарского типа, в т.ч.	52
семинары, практические занятия	34
лабораторные работы	36
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	8
другие виды контактной работы	27
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>79</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	<b>коллоквиум</b>
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен (27), зачет

### 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.	Введение	1				ОПК-3
2.	Адсорбция, ее роль в катализе	2				ОПК-3
3.	Энергетика физической и химической адсорбции	3				ОПК-3
4.	Общие закономерности и особенности диффузии	4			4	ОПК-3
5.	Основные теории катализа	4				ОПК-3
6.	Основы синтеза промышленных катализаторов	4	8		15	ПК-14
7.	Нанесенные металлические катализаторы	4	4		20	ПК-15
8.	Катализ на сплавах	4			10	ПК-15
9.	Катализаторы кислотного типа	6	4		10	ПК-15
10.	Промышленные каталитические процессы		18	36	20	ПК-14, ПК-15

#### 4.2. Занятия лекционного типа.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Иновационная форма
1	<u>Введение</u> Важнейшие понятия и термины катализа. Активность, селективность и удельная поверхность гетерогенных катализаторов. Общий механизм каталитического действия. Катализ и химическое равновесие.	1	-
2	<u>Адсорбция, ее роль в катализе</u> Физико-химические основы адсорбции. Виды адсорбции. Подвижность адсорбционного слоя. Скорость и время адсорбции. Изотерма адсорбции Лангмюра и выводы из нее проистекающие.	2	-
3	<u>Энергетика физической и химической адсорбции</u> Хемосорбция. Специфичность физической и химической адсорбции. Методы определения типа адсорбции. Энергетические взаимоотношения физической адсорбции и хемосорбции. Энергия адсорбции.	3	-
4	<u>Общие закономерности и особенности диффузии</u> Диффузия и реакция. Характеристика различных областей протекания процесса. Характеристическая макроскопическая скорость и диффузионный поток. Скорость центра масс. Средняя молекулярная и объемная скорости. Термо- и бародиффузия. Диффузия в твердых телах. Влияние давления и концентрации реагентов на скорость диффузии в твердых телах. Поверхностная диффузия. Диффузия газов в металлах. Критерии существования внешнедиффузионной области. Внешнедиффузионное торможение и разогрев внешней поверхности катализатора. Пути устранения внешней диффузии. Ее использование в промышленности.	2	-

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	Аксиальная диффузия. Распределение потоков в насыпном слое катализатора. Критерии существования внутридиффузионной области. Внутридиффузионное торможение и внутренний разогрев катализатора. Способы устранения внутренней диффузии. Фактор эффективности работ зерна катализатора, модуль Тиле. Зависимость фактора эффективности от модуля Тиле для зерен различной геометрии.	2	
5	<u>Основные теории катализа</u> Современное состояние теории предвидения каталитического действия. Теория активных центров Тейлора и теория промежуточных соединений и состояний. Их достоинства и недостатки. Мультиплетная теория катализа Баландина. Принципы геометрического и энергетического соответствия реагентов и активных центров. Достоинство теории - прогнозирующие возможности. Теория активных ансамблей Кобозева. Принципы приготовления адсорбционных катализаторов. Основные типы распределения активных центров на носителе. Активность регулярных ансамблей активных центров.	4	-
6	<u>Основы синтеза промышленных катализаторов</u> Методы подбора химически активных катализаторов. Качественные принципы подбора. Количественные методы прогнозирования активности и селективности катализаторов. Требования к промышленным катализаторам. Методы получения катализаторов. Характеристика методов пропитки и осаждения – соосаждения. Их достоинства и недостатки. Распределение активного компонента по грануле. Специальные методы приготовления катализаторов. Массивные металлические контакты. Механическая прочность катализаторов, методы испытания. Геометрия зерна. Методы загрузки катализаторов в реактор, достоинства и недостатки.	4	-

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
7	<p><u>Нанесенные металлические катализаторы</u>            Характеристика пористой структуры и методы ее создания. Микро-, мезо- и макропоры. Определение удельной поверхности катализатора. Анализ изотермы адсорбции пористого тела. Метод одной точки. Капиллярная конденсация. Уравнение Кельвина. Объем пор и их распределение по размерам. Раздельное определение поверхности носителя и металла, диспергированного на поверхности.            Структура и свойства дисперсных металлических частиц. Металлические кластеры. Поведение кристаллитов металлов на поверхности носителя в восстановительной и окислительной средах. Понятие дисперсности.            Коксообразование. Отравление металлических катализаторов. Промотирование. Тектурные и структурные промоторы. Механизм их действия</p>	4	-
8	<p><u>Катализ на сплавах</u>            Зависимость структуры сплава от соотношения металлов, входящих в его состав. Распределение металлов по поверхности и в объеме. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные реакции. Механизм гидрирования ароматических углеводородов на металлах.</p>	4	-
9	<p><u>Катализаторы кислотно-основного типа</u>            Твердые кислоты, причины появления кислых свойств. Уравнение Гаммета. Явление изоморфизма. Оксиды металлов - катализаторы кислотно-основного типа. Кислоты Льюиса и Бренстеда. Строение кислотных центров. Методы определения силы кислотных центров. Кислотность. Метод раздельного определения центров Льюиса и центров Бренстеда. Зависимость активности катализаторов от кислотности и силы кислотных центров.            Цеолиты, их строение и молекулярно-ситовые свойства. Номенклатура. Применение цеолитов в качестве катализаторов и адсорбентов.</p>	6	-

### 4.3. Занятия семинарского типа.

#### 4.3.1. Семинары, практические занятия.

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
6	Обоснование выбора прекурсоров для синтеза катализаторов заданного состава,	4	Разработка проекта (метод проектов)
6	Расчет рецептуры приготовления, анализ	4	Разработка проекта (метод проектов)
7	Обработка экспериментальных данных анализа свойств каталитических систем	4	Мастер-класс
9	Расчет характеристических показателей химического превращения в каталитических реакциях	4	Метод работы в малых группах
10	Промышленные каталитические процессы – механизмы изомеризации, риформинга, гидрирования, гидрокрекинга	18	Представление докладов

#### 4.3.2. Лабораторные занятия.

№ разд.	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Примечания
10	Метод количественного определения воды в нефтепродуктах	4	
10	Определение плотности нефтепродуктов пикнометрическим способом	4	
10	Метод определения серы сжиганием в лампе	4	
10	Определение фракционного состава нефтепродуктов	4	
10	Определение коксуемости нефтепродуктов	4	
10	Определение температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле	4	
10	Определение температуры вспышки в закрытом тигле	4	
10	Метод определения кинематической вязкости топлив	4	
10	Метод определения оптической плотности нефтепродуктов	4	



#### 4.4. Самостоятельная работа обучающихся.

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
5	Деактивация катализаторов в каталитических реакторах	4	Коллоквиум №1
6	Промышленные катализаторы гидрогенизационных процессов в нефтепереработке и нефтехимии	5	Коллоквиум №1
6	Закономерности подбора катализаторов для разных реакций	5	Коллоквиум №1
6	Методы исследования состава и структуры поверхности катализаторов	5	Коллоквиум №1
7	Структура механических катализаторов. Кластеры	20	Устный опрос №1
8	Механизм гидрирования ароматических углеводородов на металлах.	10	Устный опрос №1
9	Сила кислотных центров, их определение индикаторным методом. Достоинство и недостатки метода.	10	Коллоквиум №2
10	Выбор типов каталитических систем для промышленных химико-технологических процессов исходя из кинетических, гидродинамических параметров. Масштабирование.	20	Устный опрос №2

#### 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 зачета в 7-м семестре и экзамена в 6-м семестре.

Зачет проводится в форме письменного тестирования для проверки знаний. Студентам предлагается тест, содержащий 20 вопросов закрытого и открытого типа, достижение порогового уровня соответствует правильному ответу на 12 вопросов.

Экзамен предусматривают выборочную проверку освоения предусмотренных элементов компетенций и комплектуется теоретическими вопросами (для проверки знаний).

Для проверки умений и навыков служат результаты выполнения и интерпретации данных лабораторных работ.

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

Пример варианта вопросов на экзамене:

Вариант № 1	
1.	Внешняя диффузия. Методы устранения внешнедиффузионного торможения.
2.	Структура и свойства дисперсных металлических частиц. Их поведение в окислительной и восстановительной средах.
3.	Цеолит марки А. Характеристика и области применения

Пример варианта тестирования на зачете:

- 1 Каково соотношение скоростей диффузии и химической реакции во внешнедиффузионном режиме?
- 2 Каково соотношение скоростей диффузии и химической реакции во внешнекинетическом режиме?
- 3 К какому порядку относятся реакции, протекающие во внешнедиффузионном режиме?
- 4 Как влияет на скорость диффузии скорость в потоке газа?
- 5 В каких случаях на практике используется протекание процесса во внешнедиффузионной области?
- 6 На какие виды разделяются процессы массопереноса, протекающие внутри зерна катализатора?
- 7 От чего зависит отнесение процесса массопереноса внутри зерна катализатора к тому или иному типу?
- 8 Перечислите факторы, влияющие на процесс массопереноса к зерну катализатора из потока.
- 9 Перечислите факторы, влияющие на процесс массопереноса внутри зерна катализатора.
- 10 Какова взаимозависимость фактора эффективности и модуля Тиле?
- 11 Каково должно быть значение фактора эффективности для медленных реакций?
- 12 Перечислите стадии приготовления катализаторов методом осаждения / соосаждения
- 13 Перечислите стадии приготовления катализаторов методом пропитки
- 14 Перечислите стадии гетерогенного каталитического процесса ДО протекания химической реакции

15 Тепловые эффекты (т.э.) физической и химической адсорбции соотносятся следующим образом:

- а) одинаковы
- б) т.э. физической адсорбции больше
- в) т.э. физической адсорбции меньше
- г) т.э. химической адсорбции меньше

16 Каково соотношение скоростей диффузии и химической реакции во внешнедиффузионном режиме?

- а)  $\beta > k$
- б)  $\beta < k$
- в)  $\beta = k$

17 В каких условиях протекает физическая адсорбция

- а) при пониженной температуре
- б) при повышенной температуре
- в) в вакууме

18 Какой из этапов гетерогенной каталитической реакции является определяющим для ускорения общей скорости процесса?

19. Основной вклад в энергию межмолекулярного взаимодействия вносят:

- а) ориентационные силы
- б) дисперсионные силы
- в) индукционные силы

20. Закон Фика определяет зависимость потока частиц от:

- а) скорости химической реакции
- б) величины молекулярной диффузии
- в) величины кнудсеновской диффузии
- г) концентрации вещества в потоке и на поверхности катализатора

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в Приложении № 1

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

### **а) основная литература:**

1. Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы [Текст]: учебное пособие / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. - СПб.: Лань, 2016. – 200 с. (ЭБС)
2. Потехин, В. М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки [Текст] : учебник для хим.-технол. спец. вузов / В. М. Потехин, В. В. Потехин. - СПб. : Лань, 2014. - 896 с. (ЭБС).
3. Луцко, Ф. Н. Атлас вспомогательного оборудования катализаторных производств [Текст] : методические указания / Ф. Н. Луцко ; СПбГТИ(ТУ). Каф. технологии катализаторов. - СПб. : [б. и.], 2011. - 67 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Чоркендорф, Иб. Современный катализ и химическая кинетика [Текст] / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт; пер. с англ. В. И. Ролдугина. - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 501 с.
2. Тимофеев, В. С. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза [Текст] : учебное пособие для вузов по направлению "Химическая технология и биотехнология" и направлению подготовки дипломированных специалистов "Химическая технология органических веществ и топлива" / В. С. Тимофеев, Л. А. Серафимов. - 2-е изд., перераб. - М. : Высш. шк., 2010. - 408 с.
2. Общая химическая технология [Текст] : учебник для химико-технологических спец. вузов: В 2-х частях / под ред. И. П. Мухленова. - 5-е изд., стер. - М. : Альянс, 2009. Ч. 1 : Теоретические основы химической технологии / И. П. Мухленов, А. Я. Авербух, Е. С. Тумаркина, И. Э. Фурмер. - 256 с.
3. Леонтьева, А. И. Оборудование химических производств [Текст] : учебник для вузов по спец. "Машины и аппараты химических производств" направления подготовки "Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии" / А. И. Леонтьева. - М. : Химия ; М. : КолосС, 2008. - 479 с. : ил. - (Учебники и учебные пособия для студентов вузов) (Для высшей школы).

### **в) вспомогательная литература:**

1. Ахметов, С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа [Текст] : учебное пособие для вузов по спец. "Химическая технология природных энергоносителей и углеродных материалов" / С. А. Ахметов. - Уфа : Гилем, 2002. - 671 с. : ил. - (Для высшей школы). - Библиогр.: с. 670-671. - ISBN 5-7501-0296-3
2. Крылов, О. В. Гетерогенный катализ [Текст] : Учебное пособие для вузов по специальности 011013 "Химическая кинетика и катализ" специальности 011000 "Химия" / О. В. Крылов. - М. : Академкнига, 2004. - 679 с. : ил. - (Классический университетский учебник XXI века). - Библиогр.: с. 665-668.
3. Колесников, И. М. Катализ и производство катализаторов [Текст] / И. М. Колесников ; РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина. - М. : Техника, 2004. - 399 с. : ил. - Библиогр.: с. 376-390.

## **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.**

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

сайт федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный институт промышленной собственности»: <https://www1.fips.ru>;

электронно-библиотечные системы:

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

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

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

Все виды занятий по дисциплине проводятся в соответствии с требованиями следующих СТП:

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

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

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

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

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 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, Microsoft Word);

### **10.3. Информационные справочные системы.**

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

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

Для ведения лекционных занятий используется аудитория, оборудованная средствами оргтехники персональный компьютер, мультимедийным проектором, экраном на 48 посадочных мест.

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

Для проведения лабораторных занятий используется учебная лаборатория кафедры ресурсосберегающих технологий.

## **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 «Катализ, каталитические процессы и реакторы»**

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

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
<b>ОПК-3</b>	<b>Способность использовать основные естественнонаучные законы для понимания окружающего мира и явлений природы</b>	промежуточный
<b>ПК-14</b>	Способность применять современные методы исследования технологических процессов и природных сред, использовать компьютерные средства в научно-исследовательской работе	промежуточный
<b>ПК-15</b>	Способность планировать экспериментальные исследования, получать, обрабатывать и анализировать полученные результаты	промежуточный

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

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 1	Знать: основные определения в гетерогенном катализе Уметь: определять значения основных кинетических характеристик каталитического процесса Владеть: понятием о классификации каталитических процессов	Правильные ответы на вопросы №1 к экзамену	ОПК-3
Освоение раздела № 2	Знать: физико-химические основы адсорбции Уметь: характеризовать процессы на основании анализа изотерм адсорбции Владеть: понятием о роли и месте адсорбционных взаимодействий в гетерогенных каталитических процессах	Правильные ответы на вопросы №2-4 к экзамену  Правильные ответы на вопросы тестирования №2,12,14,15	ОПК-3
Освоение раздела №3	Знать: классификацию адсорбционных процессов Уметь: определять характеристики адсорбционного процесса графическим способом Владеть: понятием об энергетических соотношениях в гетерогенной каталитической реакции	Правильные ответы на вопросы №5-10 к экзамену  Правильные ответы на вопросы тестирования №1,6,30	ОПК-3

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 4	<p>Знать: физико-химические основы диффузии</p> <p>Уметь: классифицировать процессы по признаку области протекания на основании анализа косвенных показателей</p> <p>Владеть: понятием о роли и месте диффузионных взаимодействий в гетерогенных каталитических процессах</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №11-13 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы тестирования №3,4,13,16-18, 20-26</p>	ОПК-3
Освоение раздела № 5	<p>Знать: основные подходы классических и современных теорий катализа</p> <p>Уметь: критически анализировать основные теории гетерогенного катализа</p> <p>Владеть: представлением о современном состоянии теории предвидения каталитического действия</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №14-19 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы тестирования №5, 29</p>	ОПК-3
Освоение раздела № 6	<p>Знать: методы подбора химически активных катализаторов</p> <p>Уметь: оценивать целесообразность и обосновывать необходимость применения метода синтеза каталитической системы</p> <p>Владеть: понятием о требованиях к промышленным катализаторам</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №20-21 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы тестирования №9,27,28</p>	ПК-14
Освоение раздела № 7	<p>Знать: Характеристика пористой структуры и методы ее создания</p> <p>Уметь: использовать различные методы для определения характеристик поверхности твердого тела</p> <p>Владеть: понятием о механизмах коксообразования и методах устранения загрязнений с поверхности катализатора</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №22-23 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы тестирования №7,8</p>	ПК-15
Освоение раздела № 8	<p>Знать: закономерности структуры сплава от соотношения металлов, входящих в его состав</p> <p>Уметь: классифицировать реакции по признаку структурной чувствительности на основании косвенных признаков</p> <p>Владеть: понятием о механизмах каталитических процессов на сплавах</p>	Правильные ответы на вопросы №24-25 к экзамену	ПК-15
Освоение раздела № 9	Знать: причины проявления кислотных свойств и классификацию кислотных катализаторов	Правильные ответы на вопросы №27-40	ПК-15



Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	Уметь: описывать кислотный катализатор с точки зрения основных характеристик Владеть: понятием об аналитических методиках определения кислотных свойств катализаторов	к экзамену  Правильные ответы на вопросы тестирования №10, 11, 31-44, 46-49	
Освоение раздела № 10	Знать: правила техники безопасности и работы в химической лаборатории Уметь: выполнять манипуляции и расчеты, необходимые для выполнения анализов по изучаемым методикам Владеть: навыками работы в химической лаборатории с различными средами	Корректное выполнение и интерпретация результатов лабораторных работ	ПК-14
	Знать: виды нормативных документов, регламентирующих виды и качество продуктов промышленного производства Уметь: интерпретировать полученные экспериментальные данные для получения информации о свойствах и качестве исследуемых сред Владеть: базовыми методами математического анализа и инструментарием, применяемыми для расчета значений показателей качества исследуемых сред	Правильные ответы на вопросы тестирования №45, 50	ПК-15

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ):

по дисциплине промежуточная аттестация проводится в форме зачета в 7 семестре, результат оценивания – «зачтено», «не зачтено», а также в форме экзамена в 6 семестре, шкала оценивания балльная.

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

#### 3.1. Контрольные вопросы для проведения экзамена

##### а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-3:

1. Основные понятия и определения в катализе (активность, селективность и т.д.).
2. Адсорбция и ее роль в катализе. Силы, действующие при физической адсорбции.
3. Хемосорбция. Примеры хемосорбированных комплексов.
4. Термодинамика и энергетика физической и химической адсорбции.
5. Внешняя диффузия. Методы устранения внешнедиффузионного торможения.
6. Примеры использования внешнедиффузионной области в промышленных процессах.
7. Внутренняя диффузия, ее виды и характеристика. Критерии оценки наличия внутридиффузионных затруднений.
8. Виды внутренней диффузии и методы устранения внутридиффузионного торможения химического процесса.
9. Внутридиффузионное торможение и внутренний разогрев катализатора.
10. Фактор эффективности работы зерна катализатора, модуль Тиле.
11. Стадии гетерогенно-каталитической реакции. Кажущая и истинная энергия активации.

12. Причины, обуславливающие увеличение скорости гетерогенно-каталитической реакции по сравнению с гомогенной.
13. Сравнение величины активности различных катализаторов. Компенсационный эффект.
14. Пористая структура катализаторов. Методы определения удельной поверхности.
15. Определение объема и размера пор катализаторов методом вдавливания ртути.
16. Определение удельной поверхности металла на носителе.
17. Дисперсность металла на носителе, её зависимость от размера кристаллита.
18. Структура и свойства дисперсных металлических частиц. Их поведение в окислительной и восстановительной средах.
19. Промотирование катализаторов. Структурные и текстурные промотеры.

**б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-14:**

20. Перечислить все стадии приготовления Ni-Cr катализатора методом соосаждения. Назначение каждой стадии.
21. Получение катализаторов с различным характером распределения активного компонента по глубине зерна. Применение таких катализаторов.

**в) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-15:**

22. Коксообразование на металлоксидных катализаторах. Характеристика коксовых отложений.
23. Суть отравления металлических катализаторов. Яды, их действие.
24. Катализ на сплавах. Структурно чувствительные и структурно нечувствительные реакции.
25. Механизм гидрирования ароматических углеводородов на металле.
26. Твердые кислоты, причины появления кислотных свойств.
27. Механизм образования ароматических углеводородов из парафинов на металлоксидном катализаторе. Перечислить возможные пути ароматизации.
28. Сила кислотных центров катализатора. Методы её определения, их достоинства и недостатки.
29. Кислотность, её определение. Методы регулирования кислотных свойств поверхности катализатора.
30. Метод отдельного определения льюисовской и бренstedовской кислотности.
31. Корреляция активности катализатора с силой кислотного центра, кислотностью и типом кислотного центра.
32. Каталитическая изомеризация низкомолекулярных парафинов. Типы каталитических систем и механизм их действия.
33. Влияние механизма реакции изомеризации на технологию промышленного процесса.
34. Цеолиты, их состав. Модуль. Молекулярно-ситовые свойства.
35. Строение цеолитов типа А и Х. Появление кислотных свойств у цеолитов.
36. Цеолитсодержащие катализаторы крекинга углеводородов. Роль матрицы.
37. Механизм крекинга углеводородов различных классов на алюмосиликатном катализаторе.
38. Механизм реакции ароматизации на катализаторах кислотного типа.
39. Химизм образования кокса при каталитическом крекинге.
40. Катализаторы риформинга. Состав и назначение отдельных компонентов.

**3.2. Примерные вопросы для выполнения тестового задания для контроля знаний студентов на зачете**

**Вопросы закрытого типа:**

1. Снижение энергии активации гетерогенно-каталитической реакции зависит:

- а) от количества активных центров
- б) от теплоты хемосорбции исходных молекул
- в) от энергии образования промежуточного комплекса на поверхности катализатора.
- г) от теплоты адсорбции промежуточного комплекса

2. Основной вклад в энергию межмолекулярного взаимодействия вносят:

- а) ориентационные силы
- б) дисперсионные силы
- в) индукционные силы

3. Закон Фика определяет зависимость потока частиц от:

- а) скорости химической реакции
- б) величины молекулярной диффузии
- в) величины кнудсеновской диффузии
- г) концентрации вещества в потоке и на поверхности катализатора

4. Коэффициент скорости диффузии можно увеличить:

- а) подъемом температуры
- б) уменьшением размера пор
- в) увеличением критерия Рейнольдса

5. Ускоряющее действие катализатора определяется:

- а) сдвигом равновесия реакции
- б) увеличением хемосорбции исходных веществ
- в) увеличением скоростей прямой и обратной реакции

6. Тета-температура есть:

- а) температура, при которой скорость реакции не зависит от энергии активации
- б) температура, близкая к температуре плавления металла, нанесенного на носитель
- в) температура «зажигания» катализатора

7. Текстурированный промотор:

- а) снижает агломерацию основного действующего компонента
- б) уменьшает коксуемость катализатора
- в) увеличивает стабильность катализатора

8. Что такое дендритный углерод?

- а) отложения на поверхности катализаторов крекинга
- б) отложения на катализаторах гидроочистки
- в) отложения на поверхности Ni

9. Эффективный коэффициент теплопроводности катализатора зависит от:

- а) пористости
- б) температуры
- в) толщины слоя катализатора
- г) от скорости поперечной диффузии

10. Кислотность катализатора зависит от:

- а) силы кислотного центра
- б) количества кислотных центров на поверхности
- в) брэнстедовской кислотности
- г) кислоты Льюиса

11. Что такое модуль цеолита?

- а) размер входного окна
- б) соотношение  $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$
- в) содалитовая суперклетка
- г) соотношение  $\text{Na}^+ : \text{Al}^{+3}$

12. Тепловые эффекты (т.э.) физической и химической адсорбции соотносятся следующим образом:

- а) одинаковы
- б) т.э. физической адсорбции больше
- в) т.э. физической адсорбции меньше
- г) т.э. химической адсорбции меньше

13. Каково соотношение скоростей диффузии и химической реакции во внешнедиффузионном режиме?

а)  $\beta > k$

б)  $\beta < k$

в)  $\beta = k$

14. В каких условиях протекает физическая адсорбция

а) при пониженной температуре

б) при повышенной температуре

в) в вакууме

15. Основной вклад в энергию межмолекулярного взаимодействия вносят:

а) ориентационные силы

б) дисперсионные силы

в) индукционные силы

**Вопросы открытого типа:**

16. Каково соотношение скоростей диффузии и химической реакции во внешнедиффузионном режиме?

17. Каково соотношение скоростей диффузии и химической реакции во внешнекинетическом режиме?

18. К какому порядку относятся реакции, протекающие во внешнедиффузионном режиме?

19. Как влияет на скорость диффузии скорость в потоке газа?

20. В каких случаях на практике используется протекание процесса во внешнедиффузионной области?

21. На какие виды разделяются процессы массопереноса, протекающие внутри зерна катализатора?

22. От чего зависит отнесение процесса массопереноса внутри зерна катализатора к тому или иному типу?

23. Перечислите факторы, влияющие на процесс массопереноса к зерну катализатора из потока.

24. Перечислите факторы, влияющие на процесс массопереноса внутри зерна катализатора.

25. Какова взаимозависимость фактора эффективности и модуля Тиле?

26. Каково должно быть значение фактора эффективности для медленных реакций?

27. Перечислите стадии приготовления катализаторов методом осаждения / соосаждения

28. Перечислите стадии приготовления катализаторов методом пропитки

29. Перечислите стадии гетерогенного каталитического процесса ДО протекания химической реакции

30. Какой из этапов гетерогенной каталитической реакции является определяющим для увеличения общей скорости процесса?

31. Чем объясняется отрицательный заряд алюмоокислородного тетраэдра?

32. В чем отличие по структуре цеолита А от цеолита Х?

33. Назовите области применения цеолита А.

34. Каким образом можно получить цеолит, содержащий лантан?

35. Как можно получить цеолит, содержащий в основном центры Льюиса?

36. Назовите путь получения высококремнеземистых кристаллических алюмосиликатов.

37. Какие атомы ограничивают вход в полость цеолита и от чего зависит их количество? Приведите пример.

38. Что такое водородная форма цеолита и как ее получить?

39. В чем состоит причина снижения активности алюмосиликата при передозировке оксида алюминия  $Al_2O_3$ ?

40. В чем причина дезактивации центров Льюиса при введении в катализатор перилена либо фуллерена?

41. Как доказать, что для каталитического крекинга необходимы центры Бренстеда?
42. Какие соединения, присутствующие в вакуумном газойле, отравляют катализаторы каталитического крекинга и почему?
43. В чем суть отравления катализатора крекинга добавками пиридиновых оснований?
44. Каким образом происходит превращение кислоты Бренстеда в кислоту Льюиса?
45. Что такое катион-радикал и как он образуется на поверхности катализатора?
46. Каким образом можно увеличить подвижность протона в кислоте Бренстеда на поверхности?
47. Что означает термин «кислотная сила твердого тела»?
48. Способы определения силы кислотных центров.
49. Суть раздельного определения центров Льюиса и Бренстеда.
50. Яды для катализаторов. Перечислите примеры.

К При сдаче экзамена, студент получает три вопроса из перечня, приведенного выше в разделе 3.1. При сдаче зачета студент получает тестовое задание из 20 вопросов.

Время подготовки студента к ответу на вопросы - до 30 мин.

**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.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Разработчик		Д. А. Смирнова

Рабочая программа дисциплины «Катализ, каталитические процессы и реакторы»  
обсуждена на заседании кафедры ресурсосберегающих технологий

протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г. № \_\_\_\_\_

Заведующий кафедрой

Н. В. Кузичкин

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химической и биотехнологии

протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ г. № \_\_\_\_\_

Председатель

М. В. Рутто

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии»		Д. А. Смирнова
Директор библиотеки		Т.Н.Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И.Богданова
Начальник УМУ		С.Н.Денисенко