

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе

  
\_\_\_\_\_ Н.В.Лобов

« 06 » октября 20 21 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** \_\_\_\_\_ Основы адсорбции и современный катализ  
(наименование)

**Форма обучения:** \_\_\_\_\_ очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** \_\_\_\_\_ бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** \_\_\_\_\_ 324 (9)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** \_\_\_\_\_ 18.03.01 Химическая технология  
(код и наименование направления)

**Направленность:** \_\_\_\_\_ Химическая технология (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины - ознакомление с современными представлениями теории адсорбции, поверхностно-капиллярных и коллоидных явлений в системах с разной молекулярной структурой, и использованием этих представлений для определения основных текстурных характеристик (удельной поверхности и пористости) различных материалов и установления ряда фундаментальных закономерностей формирования текстурных характеристик на типовых стадиях синтеза, различных гетерогенных систем, а также ознакомление с современными представлениями о роли гетерогенного катализа в химической промышленности, механизме и кинетике каталитических процессов, овладение знаниями, умениями и навыками теоретических и экспериментальных исследований гетерогенных каталитических процессов.

Задачи: • изучение современных адсорбционных методов исследования структуры твердых тел, состояния представлений об основах современного гетерогенного катализа с целью объяснения на концептуальном уровне каталитических явлений и процессов;

• формирование умений использовать подходы к направленному регулированию структуры твердых тел, а также умений, достаточных для понимания специальной литературы по фундаментальным исследованиям катализа;

• формирование навыков исследования и расчета адсорбционных процессов и использования базовых знаний для решения задач практического использования гетерогенных катализаторов в химической промышленности.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- физическая адсорбция;  
- пористая структура;  
- удельная поверхность;  
- основные понятия катализа;  
- теория переходных состояний для поверхностных реакций;  
- реакционная способность поверхности катализаторов, кинетика и механизм поверхностных реакций;  
- примеры каталитических реакций, их механизм и кинетические модели.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-2.1	ИД-1ПК-2.1	Знать: -методы проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров каталитических процессов в химической технологии; -методы проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров адсорбционных процессов	Знает методы проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров и математического моделирования для описания технологических процессов.	Экзамен
ПК-2.1	ИД-2ПК-2.1	Уметь: -использовать методы проведения теоретического анализа в области применения катализаторов и каталитических процессов в технологии неорганических веществ; -использовать методы проведения теоретического анализа при изучении адсорбционных процессов.	Умеет использовать методы проведения теоретического анализа и математического моделирования.	Экзамен
ПК-2.1	ИД-3ПК-2.1	Владеть: -навыками проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров каталитических процессов и проведения расчетов параметров кинетических уравнений каталитических процессов; -навыками проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров процессов	Владеет навыками проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров и математического моделирования для описания ХТП.	Экзамен

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		адсорбции в условиях предприятий химической промышленности.		

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	6
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	104	50	54
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	36	18	18
- лабораторные работы (ЛР)	28	14	14
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	32	14	18
- контроль самостоятельной работы (КСР)	8	4	4
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	148	64	84
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	72	36	36
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	324	150	174

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
5-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Механизм и кинетика каталитических процессов	10	2	4	24
<p>Катализ и катализаторы. Основные определения. Промоторы, носители, каталитические яды. Классификация каталитических процессов и катализаторов.</p> <p>Тема 1. Адсорбция в катализе. Краткая историческая справка о катализе. Основные стадии катализа. Физическая адсорбция. Равновесие при физической адсорбции. Уравнения изотермы адсорбции. Кинетика адсорбции. Определение величины удельной поверхности.</p> <p>Химическая адсорбция (хемосорбция). Равновесие и кинетика хемосорбции. Особенности хемосорбции на неоднородной поверхности. Десорбция, кинетика десорбции.</p> <p>Тема 2. Кинетика каталитических реакций. Каталитическая активность. Селективность каталитических реакций. Элементарные стадии в катализе. Методы измерения каталитической активности.</p> <p>Основы формальной кинетики каталитических реакций. Принцип квазистационарных концентраций. Закон действующих масс. Закон действующих поверхностей.</p> <p>Кинетика и механизм Ленгмюра-Хиншельвуда. Полное решение. Стационарное приближение. Приближение квазиравновесия. Другие приближения.</p>				
Кинетика и механизм элементарных актов на поверхности катализатора	4	6	2	20
<p>Тема 3. Теория переходного состояния для поверхностных реакций</p> <p>Основные положения статистической термодинамики. Статистические суммы атомов и молекул. Статистические суммы частиц для различных видов движения.</p> <p>Теория переходного состояния для элементарных поверхностных реакций. Адсорбция атомов. Адсорбция молекул. Реакции между адсорбированными молекулами. Десорбция молекул.</p> <p>Тема 4. Кинетика поверхностных реакций</p> <p>Установление кинетических параметров элементарных реакций. Адсорбция и прилипание молекул. Определение коэффициента прилипания. Диссоциативные реакции на поверхности. Ассоциативные реакции на поверхности.</p>				
Практика гетерогенного катализа	4	6	8	20
Тема 5. Особенности поведения реакционной способности поверхности переходных металлов.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Общие характеристики каталитического окисления. Энергетические уровни ионов переходных металлов в оксидах. Особенности кинетики каталитического окисления. Активация кислорода на поверхности оксидных катализаторов. Каталитическое окисление простых молекул. Электронное строение металлов. Чистая поверхность металлов. Адсорбция на переходных металлах. Простейшие каталитические реакции на переходных металлах. Тема 6. Процессы получения водорода и процессы синтеза с участием водорода. Конверсия углеводородов с водяным паром. Паровая конверсия монооксида углерода. Синтез аммиака. Синтез метанола.				
ИТОГО по 5-му семестру	18	14	14	64
6-й семестр				
Статика и кинетика адсорбции	8	6	8	26
Задачи курса дисциплины. Основные понятия в теории адсорбции. Тема 1. Адсорбция и обуславливающие её силы, типы адсорбционных взаимодействий, адсорбционный потенциал на поверхности и в порах адсорбентов. Тема 2. Характеристики промышленных адсорбентов. Активные угли, силикагели, алюмогели, цеолиты. Структура и основные марки, применение. Тема 3. Статика адсорбции, теплота адсорбции. Теория объёмного заполнения микропор. Области применения. Слабо сорбирующиеся газы, адсорбция при повышенных давлениях, адсорбция смесей. Кинетика адсорбции. Внешняя и внутренняя диффузия. Виды переноса в порах.				
Массообмен в зернистом слое, динамика адсорбции	4	4	4	26
Тема 4. Массообмен в зернистом слое. Тема 5. Основные модели динамики адсорбции. Тема 6. Сравнительная характеристика равновесных и неравновесных моделей фронтальной изотермической и фронтальной неизотермической адсорбции.				
Регенерация адсорбентов	3	2	4	18
Тема 7. Классификация процессов по способам регенерации. Реактивация адсорбента. Тема 8. Процессы осушки. Принципиальная схема технологии, адсорбенты осушители. Оборудование.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Тема 9. Промышленная очистка газов. Защита атмосферы от загрязнений. Получение защитных атмосфер. Тема 10. Использование избирательности адсорбции. Защита гидросферы от загрязнения. Тема 11. Использование молекулярно-ситовых свойств цеолитов. Очистка промышленных продуктов от примесей.	3	2	2	14
ИТОГО по 6-му семестру	18	14	18	84
ИТОГО по дисциплине	36	28	32	148

### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Вывод и анализ кинетических уравнений по механизму Ленгмюра-Хиншельвуда при различных лимитирующих стадиях.
2	Пример описания кинетики и механизма процесса каталитического окисления СО кислородом.
3	Синтез аммиака. Вывод кинетического уравнения.
4	Синтез метанола. Вывод кинетического уравнения.
5	Расчёт параметров пористой структуры адсорбентов и величины адсорбции: а) по уравнению Ленгмюра (мономолекулярная абсорбция); б) по уравнению БЭТ (полимолекулярная абсорбция); в) по уравнению Дубинина (объёмного заполнения пор); г) по уравнению Фрейдлиха.
6	Определение продолжительности работы зернистого слоя в условиях применения равновесной и неравновесной изотермической адсорбции.
7	Определение продолжительности нагрева (охлаждения) при регенерации адсорбентов. Задачи по неизотермической динамике адсорбции.
8	Расчёт адсорбера для очистки отходящих газов от кислых токсичных компонентов.

### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Знакомство с современными физико-химическими методами исследований в гетерогенном катализе: определение удельной поверхности твердых дисперсных материалов
2	Знакомство с современными физико-химическими методами исследований в гетерогенном катализе: электронная микроскопия
3	Температурно-программированная десорбция, температурно-программируемое восстановление и температурно-программируемое окисление
4	Импульсная хемосорбция

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
5	Определение величины адсорбции и удельной поверхности. Правила техники безопасности, охраны труда (получить изотерму адсорбции паров воды при комнатной температуре).
6	Определение высоты работающего слоя и «выходной кривой» при динамике адсорбции CO <sub>2</sub> сорбентом
7	Определение продолжительности термической (газовытеснительной) десорбции сорбента

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

<p>Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.</p> <p>Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.</p> <p>Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.</p> <p>При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.</p>
--

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

<p>При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.</li> <li>2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.</li> <li>3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.</li> <li>4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.</li> </ol>
---

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература



№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Адсорбция, адсорбенты и адсорбционные процессы в нанопористых материалах : монография / Российская академия наук ; Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина ; Под ред. А. Ю. Цивадзе. - Москва: Граница, 2011.	1
2	Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники / Н. В. Кельцев. - Москва: Химия, 1984.	5
3	Ролдугин В. И. Физикохимия поверхности : учебник-монография / В. И. Ролдугин. - Долгопрудный: Интеллект, 2011.	4
4	Чоркендорф И. Современный катализ и химическая кинетика : пер. с англ. / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт. - Долгопрудный: Интеллект, 2010.	10
5	Чоркендорф И. Современный катализ и химическая кинетика : учебное пособие для вузов : пер. с англ. / И. Чоркендорф, Х. Наймантсведрайт. - Долгопрудный: Интеллект, 2013.	8
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Баталин Г. И. Расчеты по физической химии (адсорбция, кинетика, электрохимия) / Г. И. Баталин. - Киев: Вища шк., 1977.	1
2	Колесников И. М. Катализ и производство катализаторов / И. М. Колесников. - М.: Техника, 2004.	10
3	Крылов О.В. Гетерогенный катализ : учебное пособие для вузов / О.В.Крылов. - М.: Академкнига, 2004.	36
4	Серпионова Е. Н. Промышленная адсорбция газов и паров : учебное пособие для вузов / Е. Н. Серпионова. - Москва: Высш. шк., 1969.	11
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
1	Розенберг Г. И. Теория технологических процессов. Каталитические процессы в технологии неорганических веществ : учебное пособие / Г. И. Розенберг. - Казань: Изд-во КХТИ, 1976.	2
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
1	Семиохин И. А. Кинетика химических реакций : учебное пособие для вузов / И. А. Семиохин, Б. В. Страхов, А. И. Осипов. - Москва: Изд-во МГУ, 1995.	2

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Ветошкин, А. Г. Технические средства инженерной экологии : учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 424 с.	<a href="https://e.lanbook.com/book/107281">https://e.lanbook.com/book/107281</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Методические указания для студентов по освоению дисциплины	Ветошкин, А. Г. Основы процессов инженерной экологии. Теория, примеры, задачи : учебное пособие / А. Г. Ветошкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 512 с.	<a href="https://e.lanbook.com/book/45924">https://e.lanbook.com/book/45924</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Основная литература	Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы : учебное пособие / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 200 с.	<a href="https://e.lanbook.com/reader/book/102250/#1">https://e.lanbook.com/reader/book/102250/#1</a>	локальная сеть; авторизованный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Романовский, Б. В. Основы катализа : учебное пособие / Б. В. Романовский. — 2-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2017. — 175 с.	<a href="https://e.lanbook.com/book/94126">https://e.lanbook.com/book/94126</a>	локальная сеть; авторизованный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

#### **6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

#### **7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине**

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Анализатор импульсной хемосорбции, ТРД/TRP/ТРО и удельной поверхности ChemiSorb 2720	1
Лабораторная работа	вакуумный насос	1
Лабораторная работа	весы	3
Лабораторная работа	Прибор для измерения удельной поверхности дисперсных и пористых материалов Сорби-MS	1
Лабораторная работа	Сканирующий электронный микроскоп с рентгено-флуоресцентной приставкой	1
Лабораторная работа	сушильный шкаф	1
Лекция	Ноутбук ACER Extensa 7620-G -3A2G25Mi, инвентарный № 0478200	1
Практическое занятие	Ноутбук ACER Extensa 7620-G -3A2G25Mi, инвентарный № 0478200	1

#### **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
**«Основы адсорбции и современный катализ»**  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

Пермь 2021

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины.

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение двух семестров (5-го и 6-го семестров учебного плана) и разбито на 7 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные, практические и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала, сдаче отчетов по лабораторным работам и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля					
	Текущий		Рубежный		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Экзамен	
					5 семестр	6 семестр
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>З.1</b> знать методы проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров каталитических процессов в химической технологии	С1	ТО1		КР1	ТВ	
<b>З.2</b> знать методы проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров адсорбционных процессов	С2	ТО2		КР2 КР3		ТВ
<b>Освоенные умения</b>						
<b>У.1</b> уметь использовать методы проведения теоретического анализа в области применения катализаторов и каталитических процессов в технологии неорганических веществ	С3			КР1	ПЗ	
<b>У.2</b> уметь использовать методы проведения теоретического анализа при изучении адсорбционных процессов	С4			КР2 КР3		ПЗ
<b>Приобретенные владения</b>						
<b>В.1</b> владеть навыками проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров каталитических	С5		ОЛР1 ОЛР2 ОЛР3		ПЗ	

процессов и проведения расчетов параметров кинетических уравнений каталитических процессов			ОЛР4			
<b>В.2</b> владеть навыками проведения теоретического анализа при обосновании оптимальных технологических параметров процессов адсорбции в условиях предприятий химической промышленности	С6		ОЛР5 ОЛР6 ОЛР7			КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание, КЗ – комплексное задание экзамена.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена в 5 и 6 семестре, проводимых с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;
- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;
- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;
- контроль остаточных знаний.

### **2.1. Текущий контроль усвоения материала**

Текущий контроль усвоения материала в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и

учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 7 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 3 рубежные контрольные работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулям 1 «Механизм и кинетика каталитических процессов» и 2 «Кинетика и механизм элементарных актов на поверхности катализатора», вторая КР по модулю 4 «Статика и кинетика адсорбции», третья КР – по модулю 7 «Применение адсорбционных процессов».

#### **Типовые задания первой КР:**

1. Катализ и катализаторы. Основные определения. Промоторы, носители, каталитические яды.
2. Ассоциативная адсорбция. Диссоциативная адсорбция. Конкуренция адсорбция.
3. Требования, которые предъявляются к эффективным катализаторам.

#### **Типовые задания второй КР:**

1. Провести расчёт изотермы адсорбции при заданной температуре по известной изотерме адсорбции при другой температуре.
2. Провести расчёт совместной адсорбции газовой смеси оксидов азота на кислотостойких цеолитах.

#### **Типовые задания третьей КР:**

1. Провести расчёт осушки природного газа адсорбционным методом.
2. Определить продолжительность работы зернистого слоя в условиях применения неравновесной изотермической адсорбции.
3. Определить продолжительность нагрева при регенерации адсорбентов (углей, цеолитов, силикагелей).
4. Провести расчёт адсорбера для очистки отходящих токсичных газов активным углём при заданной производительности.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС образовательной программы.

## **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам

текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация в 5 семестре, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний и практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Промежуточная аттестация в 6 семестре, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для экзамена в 5 семестре по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Катализ и катализаторы. Основные определения. Промоторы, носители, каталитические яды.
2. Краткая историческая справка о катализе. Основные этапы исследований и ученые, внесшие вклад в науку о катализе.
3. Физическая адсорбция. Кинетика адсорбции.
4. Химическая адсорбция (хемосорбция). Равновесие и кинетика хемосорбции.

#### **Типовые вопросы и практические задания для контроля усвоенных умений и приобретенных владений:**

1. Синтез аммиака. Вывод уравнения кинетики.
2. Конверсия метана с водяным паром. Уравнение кинетики без учета образования углерода на поверхности.
3. Синтез метанола. Основные этапы вывода кинетического уравнения процесса синтеза метанола.

*Полный комплект вопросов и заданий для экзамена по форме утвержденных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

### **2.3.2. Типовые вопросы и задания для экзамена в 6 семестре по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Динамика адиабатической адсорбции. Выходные кривые распределения температур и концентраций, режим волн.
2. Природные и синтетические кислотостойкие цеолиты. Структура, основные марки и применение.
3. Типы адсорбционных процессов.
4. Методика расчёта адсорбции микропористыми адсорбентами из смеси газов, используя ТОЗМ.
5. Уравнение полимолекулярной адсорбции для плоской поверхности БЭТ.



6. Циклические процессы с регенерацией адсорбента прямым вводом тепла

**Типовые вопросы для контроля освоенных умений:**

1. Проанализировать технологическую схему осушки природного газа, выбрать адсорбент и аппаратное оформление процесса.

2. Преимущества адсорбционного способа перед ректификацией при разделении воздуха.

3. Усовершенствование процесса очистки газов коксохимического производства.

**Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. Провести синтез технологической схемы рекуперации сероуглерода.

2. Провести обоснование технологических рисков при очистке отходящих кислых газов производств связанного азота.

3. Провести технологическое сравнение регенерации и реактивации при проведении адсорбции СО и СО<sub>2</sub> при низких температурах.

*Полный комплект вопросов и заданий для экзамена по форме утвержденных билетов хранится на выпускающей кафедре.*

**2.3.3. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

**3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций**

**3.1. Оценка уровня сформированности компонентов компетенций**

При оценке уровня сформированности компетенций в рамках выборочного контроля при экзамене считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете компетенции обобщается на соответствующий компонент всех компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

**3.2. Оценка уровня сформированности компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС образовательной программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде экзамена используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС

образовательной программы.