

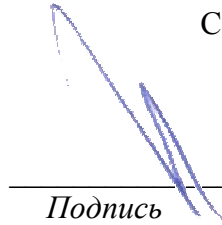
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Новосибирский национальный исследовательский государственный
университет» (Новосибирский государственный университет, НГУ)

Факультет естественных наук

СОГЛАСОВАНО

Декан ФЕН

Резников В. А.


Подпись

5 октября 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Научные основы приготовления катализаторов

специальность: 04.05.01 Фундаментальная и прикладная химия
направленность (профиль): Фундаментальная и прикладная химия

Форма обучения: очная

Разработчик:

к.х.н., ст. преп. Симонов П.А.

Зав. кафедрой

д.х.н., акад. Бухтияров В.И.

Руководитель программы:

д.х.н., доц. Емельянов В.А.

Новосибирск, 2020

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.....	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.....	5
5. Перечень учебной литературы	13
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся	14
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины	14
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине	15
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	15
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.....	15

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

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
<p>С-ПК-2. Способен проводить патентно-информационные исследования в выбранной области химии и/или смежных наук, способен к анализу и обобщению отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования</p>	<p>С-ПК-2.2. Анализирует и обобщает отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования в выбранной области химии (химической технологии)</p>	<p>- <u>имеет представление</u> о роли научных основ приготовления катализаторов в комплексе задач и проблем катализа, связанных с созданием новых и усовершенствованием существующих промышленных катализаторов; об основных подходах к приготовлению различных носителей, одно- и многокомпонентных массивных и нанесенных катализаторов, а также их предшественников и полупродуктов для отдельных этапов синтеза;</p> <p>- <u>имеет опыт</u> написания реферата, содержащего анализ литературных данных по методам синтеза катализаторов, закономерностям формирования и свойствам получаемого при этом активного компонента</p>
<p>С-ПК-4. Способен планировать и осуществлять направленный синтез (или выделение из природных объектов) известных и новых соединений и материалов</p>	<p>С-ПК-4.1. Выбирает из литературных данных и разрабатывает новые схемы и методики синтеза (или выделения из природных объектов) соединений и материалов</p>	<p>- <u>знает</u>, какие типы физико-химических процессов протекают на различных этапах синтеза носителей и катализаторов в рамках тех или иных методов приготовления, и какие из этих процессов в значительной степени определяют субструктурные и текстурные свойства получаемых материалов, состояние (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента, а также какие существуют механизмы отравления, спекания и механического разрушения катализаторов в ходе;</p> <p>- <u>умеет</u> формулировать требования к предполагаемой методике синтеза катализаторов или носителей при их заданных химических, субструктурных и текстурных свойствах, состояния (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента;</p> <p>- <u>способен</u> определять (на качественном или полуколичественном уровне) условия синтеза простых катализаторов в рамках того или иного метода для дос-</p>

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
		достижения заданного состояния активного компонента катализатора, осуществлять расчёт количеств реагентов (с учётом их чистоты и влажности) и вспомогательных материалов для приготовления образцов катализаторов и носителей определенного химического состава или требуемой пористой структуры

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплины (практики), изучение которых необходимо для освоения дисциплины «*Научные основы приготовления катализаторов*»:

- Физическая химия
- Неорганическая химия
- Координационная химия
- Аналитическая химия
- Органическая химия
- Химия ВМС
- Химия твердого тела
- Химическая термодинамика
- Химическая кинетика
- Основы компьютерной грамотности

Дисциплины и практики, для изучения которых необходимо освоение дисциплины «*Научные основы приготовления катализаторов*»:

- Кинетика гетерогенных каталитических реакций
- Адсорбция и пористая структура
- Физические методы в катализе и адсорбции
- Катализ, окружающая среда, устойчивое развитие цивилизации
- Молекулярный дизайн катализаторов
- Научно-исследовательская практика

3. Трудоемкость дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающегося

Трудоемкость дисциплины – 4 з.е. (144 ч)

Форма промежуточной аттестации: 7 семестр – экзамен

№	Вид деятельности	Семестр
		7
1	Лекции, ч	36
2	Практические занятия, ч	36
3	Лабораторные занятия, ч	-
4	Занятия в контактной форме, ч	78

	из них	
5	из них аудиторных занятий, ч	72
6	в электронной форме, ч	-
7	консультаций, час.	4
8	промежуточная аттестация, ч	2
9	Самостоятельная работа, час.	66
10	Всего, ч	144

Реализация дисциплины включена в практическую подготовку в ИК СО РАН при проведении следующих видов занятий, часть из которых предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью:

- лекции;
- научно-исследовательская практика.

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

7 семестр

Лекции (36 ч)

Наименование темы и их содержание	Объем, час
Раздел 1. Введение, цели и задачи научных основ приготовления катализаторов	
Тема 1. <i>История становления науки о катализе.</i> Первые процессы, впоследствии известные как каталитические. Становление химической науки в конце 18-начале 19 вв. и первые взгляды на механизмы этих реакций. Систематические исследования каталитических реакций в конце 19 в. Раскрытие сущности каталитических реакций с точки зрения их кинетики, термодинамики и механизма в конце 19 - начале 20 вв. <i>Определение катализа</i> по Г.К. Борескову и А.А. Баландину. Становление методологии исследования кинетики гетерогенных реакций с середины 20 в.	1
Тема 2. <i>Положения Г.К. Борескова о химической природе катализа.</i> Основные проблемы катализа. История развития взглядов и подходов к приготовлению катализаторов. <i>Классификация катализаторов.</i> Принципы классификации. Основные типы промышленных катализаторов. <i>Цели и задачи научных основ приготовления и технологии катализаторов (НОПК).</i> Связь курса НОПК с другими дисциплинами.	1
Раздел 2. Основные характеристики катализаторов и их зависимость от условий приготовления	
Тема 3. <i>Текстурные и механические характеристики катализаторов.</i> Основные требования к промышленным и лабораторным катализаторам. Удельная каталитическая активность однофазных и многофазных катализаторов. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные каталитические процессы, их примеры. <i>Селективность</i> , её зависимость от состава катализатора и пористой структуры. <i>Текстурные характеристики катализаторов:</i> модели пористых тел, основные количественные характеристики текстуры. Основные механизмы изменения удельной поверхности при приготовлении катализаторов, задачи НОПК в области управления текстурными свойствами катализаторов. <i>Механическая прочность</i> катализаторов: прочность на истирание, раздавливание и разрыв. Типы связей между частицами в твёрдых телах и механизмы разрушения твёрдых тел. Хрупкое разрушение пористых тел: природа сил, вызы-	2

<p>вающих их разрушение, основные положения теории Ребиндера-Щукина. Термодинамика механического разрушения твёрдых тел по Ребиндеру, способы повышения механической прочности.</p>	
<p>Тема 4. <i>Дезактивация катализаторов</i>. Основные факторы, вызывающие изменение активности и селективности катализаторов. Термическая стабильность. Типы процессов массопереноса при спекании катализаторов. Способы повышения устойчивости катализаторов к спеканию. Текстурные и структурные промоторы. Отравление ядами и блокировка активного компонента катализатора отложениями, способы повышения устойчивости катализаторов к отравлению и закоксованию, проблемы реактивации катализатора. <i>Оптимальные гидродинамические характеристики катализаторов</i>: гидравлическое сопротивление слоя катализатора и его зависимость от морфологии частиц катализатора. Основные формы частиц катализаторов.</p>	2
<p>Раздел 3. Основные этапы и методы приготовления катализаторов</p>	
<p>Тема 5. <i>Выбор и подготовка исходных веществ</i>. Требования к методам приготовления промышленных и лабораторных катализаторов. Приготовление катализатора как многоэтапный процесс. <i>Этап 1</i>: выбор и подготовка исходных веществ. Критерии выбора исходных веществ. Подготовка исходных веществ: сушка до регламентированной влажности; измельчение и рассев; приготовление растворов, физико-химические процессы, протекающие при растворении и хранении растворов, влияние состояния ионов в растворе на свойства получаемых катализаторов. Механохимическая активация порошков, её влияние на их реакционную способность.</p>	2
<p>Тема 6. <i>Этап 2: получение активного компонента</i>. Основные подходы к получению дисперсных систем: конденсация, диспергирование, гетерофазный синтез. Методы конденсации в газовой и жидкой фазе. Методы механического, химического, термического и комбинированного диспергирования. Принципы и особенности гетерофазного синтеза. Классификация традиционных методов синтеза катализаторов и их краткое описание: осаждение (соосаждение) из жидких сред, нанесение, механическое смешение, термическое разложение, химическое осаждение из газовой фазы. Новые (нетрадиционные) методы синтеза катализаторов.</p>	2
<p>Тема 7. <i>Этап 3: Формование катализаторов и носителей</i>. Основные этапы переработки катализаторной массы в товарный продукт (изделие). Виды формовочных масс и методы формования изделий, типы специальных добавок и технологических связок. Различные технологические приёмы и схемы оборудования для формования порошкообразных, концентрированных и жидких формовочных масс. Окатывание. Таблетирование, закономерности формирования пористой структуры. Получение керметов. Пластическое формование (экструзия, волочение, прокатка), требования к реологии пластических масс. Формование гелеобразных масс (разбрызгивание, электроспиннинг, пневматическое и механическое вытягивание нитей), основные морфологические свойства получаемых изделий.</p>	2
<p>Тема 8. <i>Этап 4. Сушка приготовленных катализаторов</i>. Современные технологии сушки, их достоинства и недостатки. Факторы, затрагивающие кинетику сушки. Механические аспекты сушки: усадка (максимальная, недопущенная), трещиноватость и коробление, методы борьбы с ними. <i>Этап 5. Пассивация или активация конечного катализатора</i>:</p>	1

предназначение, основные приёмы.	
Раздел 4. Носители для катализаторов: свойства, получение, применение	
<p>Тема 9. <i>Основные виды синтетических и природных материалов, используемых в качестве носителей для катализаторов. Роль носителей в катализаторах:</i> эволюция взглядов на роль носителя в катализаторе, основные требования к физико-химическому состоянию носителей в зависимости от условий и типа катализируемого процесса. <i>Физико-химические свойства основных синтетических и природных носителей. Оксид кремния (силикагель):</i> примеры катализаторов на его основе, структура оксидов кремния, фазовые переходы, методы получения (золь-гель метод, через коагель, пламенный метод). Закономерности формирования силиказоля, получаемого гидролизом силиката натрия: механизмы роста частиц золя, влияние рН на скорость роста и стабильность зольей SiO₂. Влияние лиофобных и многозарядных ионов в рассоле на коагуляцию зольей SiO₂. Закономерности изменения удельной поверхности силикагелей, получаемых из силиката натрия по золь-гель методу и осаждением коагеля, от условий осаждения (рН, скорость осаждения, время старения, способ промывки осадка). Влияние примесей на текстурные свойства силикагелей. Химия поверхности силикагелей, зависимость от температуры прокаливания и примесей других элементов. Основные физико-химические свойства силикагелей (диапазон текстурных свойств, формуемость, механическая прочность, термическая и химическая стойкость, собственные каталитические свойства).</p>	2
<p>Тема 10. <i>Оксиды алюминия:</i> Структура корунда (α-Al₂O₃) и переходных фаз (χ -, θ -, κ -, γ -, η -, δ -Al₂O₃). Схема химических превращений гидроксидов алюминия и фазовых превращений оксидов алюминия в зависимости от размеров их частиц, скорости нагрева, температуры и давления паров воды. Использование различных форм оксидов алюминия в катализе, их основные физико-химические свойства (диапазон текстурных свойств, формуемость, механическая прочность, термическая и химическая стойкость). Химические группировки на поверхности "активных" форм оксидов алюминия. <i>Технологии получения носителей на основе оксидов алюминия:</i> структура и реакционная способность гидроксидов алюминия (гиббсит, байерит, бемит и псевдобемит, диаспор), способы их получения из природных минералов, методы очистки, технологические схемы получения оксидов из этих предшественников в рамках традиционных подходов и термохимической активацией; получение оксидов алюминия по золь-гель методу, в том числе через металлоорганические соединения. Приёмы формования сферического оксида алюминия.</p>	2
<p>Тема 11. <i>Диоксиды титана, циркония, магния. Диоксид титана:</i> структура и фазовые переходы аллотропных форм (рутил, анатаз), их основные физико-химические свойства (диапазон текстурных свойств, формуемость, механическая прочность, термическая и химическая стойкость, полупроводниковые свойства). Примеры использования TiO₂ в катализе и для приготовления катализаторов. Методы получения TiO₂ из природных минералов (сернокислотный и хлорный способы вскрытия титансодержащего сырья, гидролиз и окисление хлоридов или алкоксидов титана, методы химического замещения и молекулярного наплаивания).</p> <p><i>Диоксид циркония:</i> структура и фазовые переходы аллотропных форм, физико-химические свойства моноклинного ZrO₂ (текстурные свойства,</p>	1

<p>формуемость, механическая прочность, термическая и химическая стойкость). Примеры использования ZrO_2 в катализе и для приготовления катализаторов. Гидролитические методы получения пористого ZrO_2.</p> <p><i>Оксид магния</i>: структура и физико-химические свойства (вариация текстурных свойств, формуемость, механическая прочность, термическая и химическая стойкость). Примеры использования MgO в катализе и для приготовления катализаторов. Сравнение свойств пористого MgO, полученного традиционными методами и через гидролиз алкоксидов с последующей сушкой в сверхкритических условиях.</p>	
<p>Тема 12. <i>Углеродные носители</i>: классификация углеродных материалов исходя из типа гибридизации атомных орбиталей углерода и доли этих состояний углерода в материале (алмаз, графит, карбин, промежуточные (фуллерены и циркулены) и смешанные формы (активные угли, технический углерод, Сибунит, каталитический волокнистый углерод и углеродные нанотрубки). <i>Алмаз и графит</i>: структура основных политипов, термодинамика и механизм (по В.Л. Кузнецову) фазового перехода алмаза в графит, закономерности превращения наноалмазов в луковичный углерод. <i>Луковичный углерод</i> как "матрёшка" из вложенных фуллеренов, его физико-химические свойства. <i>Фуллерены</i>: общая формула, структура, методы получения, химические свойства, использование в катализе. <i>Карбины</i>: структура, методы получения, химические свойства. Существование наноразмерных аллотропных форм углерода в смешанных (переходных) формах углеродных материалов. <i>Квазиграфитовые углеродные материалы</i>: активные угли, технический углерод (сажи), Сибунит, каталитический волокнистый углерод и углеродные нанотрубки. Методы их приготовления (сырьё, условия карбонизации, активации, использование темплатов, различных добавок и катализаторов, основные закономерности формирования микроструктуры, текстуры и морфологии углеродных частиц). Физико-химические свойства (вариация субструктурных и текстурных свойств, формуемость, механическая прочность, термическая и химическая стойкость), использование в катализе. Модели микроструктуры частиц различных квазиграфитовых углей и нанотекстуры их поверхности. Химические группировки на поверхности пористых углеродных материалов, их влияние на электрохимические свойства углей, методы их идентификации и термическая устойчивость.</p>	2
<p>Раздел 5. Получение массивных катализаторов методом осаждения</p>	
<p>Тема 13. <i>Технологические аспекты метода осаждения</i>. Основные этапы синтеза катализаторов методом осаждения, ключевые стадии метода, гомогенное и гетерогенное осаждение, периодический и непрерывный режимы осаждения и свойства получаемых при этом осадков. Начало образования осадка и критерий окончания осаждения. Влияние способа осаждения и основных параметров его ключевых стадий на формирование и свойства осадков гидроксидов.</p> <p><i>Механизмы формирования гидроксидов металлов</i>: общая стадийная схема коллоидно-химического осаждения и классификация гидроксидов по их способности к кристаллизации при старении. Объяснение причин различий катионов в скорости кристаллизации соответствующих гидроксидов исходя из их поляризующей способности (по Фаянсу). Основные задачи НОПК в области приготовления оксидных систем методом осаждения.</p> <p><i>Закономерности образования и роста осадков</i>: диаграмма растворимости вещества, области устойчивости, метастабильности и абсолютной</p>	2

<p>неустойчивости раствора. Общие представления о классической теории конденсации и теории спинодального распада. Сравнение экспериментальных результатов по определению размеров частиц золь гидроксидов с различными катионами с выводами этих теорий, влияние свойств свежих гидрогелей на удельную поверхность получаемых из них ксерогелей.</p> <p><i>Старение осадков под маточным раствором.</i> Термодинамические причины старения осадков и основные процессы, протекающие при старении. Механизмы массопереноса в осадках через дисперсионную среду и внутри самих частиц осадков. Уравнение Гиббса-Томпсона-Оствальда.</p>	
<p>Тема 14. <i>Старение легко-труднокристаллизующихся гидроксидов.</i> Схемы фазовых превращений и изменения морфологии частиц осадков при старении гидроксидов Al^{III}, Fe^{III}, Cr^{III} и Cu^{II} в зависимости от pH маточного раствора и температуры. Общий взгляд на механизм старения гидроксидов по В.А. Дзисько, его недостатки. Основные положения теории кристаллизации гидроксидов по механизму ориентированного наращивания (по Р.А. Буянову и О.П. Криворучко). Существующие взгляды на причины ориентированного сращивания кристаллитов веществ. Подходы к регулированию удельной поверхности осадков гидроксидов согласно теории кристаллизации гидроксидов по механизму ориентированного наращивания.</p> <p><i>Закономерности формирования легкокристаллизующихся гидроксидов:</i> влияние растворителя, pH осаждения и температуры на удельную поверхность осадков.</p>	2
<p>Тема 15. <i>Получение носителей и катализаторов из алкоксидов металлов по золь-гель методу.</i> Исходные соединения, растворители и катализаторы гидролиза. Достоинства метода. Механизм золь-гель процесса осаждения. Соотношение скоростей гидролиза и конденсации в зависимости от pH как ключевой фактор, определяющий свойства алкогеля. Влияние природы алкокси-групп, соотношения алкоксид/вода и природы растворителя на скорость гидролиза алкоксидов. Зависимость текстурных свойств алкогелей от способа удаления растворителя. Проблема получения смешанных оксидов гидролизом алкоксидов элементов и подходы к управлению кинетикой гидролиза смеси алкоксидов. Основные подходы к синтезу нанесенных металлических катализаторов гидролизом алкоксидов элементов, достоинства и недостатки таких методов.</p>	1
<p>Раздел 6. Получение многокомпонентных массивных катализаторов</p>	
<p>Тема 16. <i>Методы соосаждения гидроксидов и механического смешения.</i> Примеры многокомпонентных массивных катализаторов, подходы к их приготовлению. <i>Метод соосаждения гидроксидов металлов:</i> цели, преследуемые при соосаждении, и типы катализаторов, получаемых в зависимости от глубины взаимодействия осаждаемых компонентов. Основные вопросы, решаемые при разработке НОПК в рамках метода соосаждения: предвидение глубины взаимодействия гидроксидов в ходе осаждения на основании их химических свойств, диапазонов pH осаждения и особенностей кристаллической структуры. 4 уровня взаимодействия гидроксидов металлов при соосаждении (по Р.А. Буянову). Экспериментальные признаки наличия взаимодействия между различными гидроксидами. Некоторые примеры формирования фазового состава и текстуры смешанных оксидов, а также вариации поверхностных химических свойств в зависимости от состава осадков, при соосаждении гидроксидов, обладающих разными уровнями взаимодействия друг с другом.</p>	2

<p>Гидроталькиты. Закономерности восстановления никельсодержащих смешанных оксидов водородом в зависимости от содержания никеля. Система $\text{Si}^{\text{IV}}-\text{Me}^{\text{n+}}$ (Mg^{2+}, Al^{3+}, Ti^{4+}, Zr^{4+}): влияние природы катиона и его содержания на кислотность поверхности смешанного оксида. Корреляция между фазовой диаграммой состояния смешанных оксидов и их текстурными свойствами, влияние примесей.</p> <p><i>Метод механического смешения (МС)</i>. Примеры катализаторов и носителей, получаемых методом механического смешения. Основные этапы метода, ключевые стадии, определяющие свойства получаемых катализаторов и носителей. Взаимозависимость всех стадий этого метода. Достоинства и недостатки метода. Примеры синтеза катализаторов и носителей методом МС, когда взаимодействие компонентов происходит на стадиях совместного размола (механохимический синтез), смешения (мокрое смешение) или прокаливания. <i>Прокаливание</i>: стадии механизма твердофазного взаимодействия, типы химических реакций между твердыми телами, теоретические модели твердофазных процессов (модели Яндера, анти-Яндера, Вагнера), факторы, определяющие глубину твердофазного взаимодействия, эффект Хедвалла.</p>	
Раздел 7. Термическая обработка катализаторов	
<p>Тема 17. <i>Закономерности формирования фазового состава и текстуры катализаторов при их термической обработке</i>. Природа процессов, протекающих при термической обработке предшественников катализаторов. Факторы, затрагивающие интенсивность и глубину этих процессов. Кинетика топомеханических реакций.</p> <p><i>Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении (ТР) солей и гидроксидов</i>. Проблемы управления процессом формирования фазового состава катализатора при ТР веществ. <i>Формирование фазового состава при термическом разложении</i>: разложение индивидуальных соединений (прямое, стадийное, с изменением валентности), разложение бинарных соединений переменного и стехиометрического состава.</p> <p>Факторы, затрагивающие интенсивность процессов разложения веществ, их влияние на текстурные свойства продуктов разложения. Особенности формирования текстуры при терморазложении аморфных гидроксидов металлов, состоящих из рыхлых или плотноупакованных агрегатов первичных частиц. Особенности протекания терморазложения кристаллических веществ, влияние природы исходных веществ на характер изменения величины поверхности при формировании оксидов. Термомеханическая активация гиббсита, её достоинства и недостатки в приготовлении носителей и катализаторов.</p>	2
Раздел 8. Получение нанесенных катализаторов	
<p>Тема 18. <i>Материалы и основные подходы в приготовлении нанесенных катализаторов</i>. Характеристики нанесенных катализаторов. Синтетические и природные материалы, используемые в качестве носителей для катализаторов. Химические типы нанесенного активного компонента. Выражение для активности нанесенных катализаторов. Основные характеристики нанесенных катализаторов: распределение частиц активного компонента по размерам и его моды, соотношения между удельной поверхностью, дисперсностью и средне-поверхностным размером частиц активного компонента, типы распределения активного компонента по зерну носителя. Основные подходы к синтезу нанесенных катализаторов. <i>Катализаторы, получаемые нанесением их предшественников на носи-</i></p>	2

<p>тель: стратегии нанесения, классификация методов нанесения по Г.К. Борескову.</p>	
<p>Тема 19. <i>Получение нанесенных однокомпонентных катализаторов методом пропитки.</i> Общая технологическая схема получения пропиточных катализаторов, режимы и способы пропитки, аппараты для пропитки носителей. Материальный баланс процессов пропитки. Сушка как ключевая стадия синтеза катализатора. Процессы массопереноса в ходе сушки и их влияние на свойства активного компонента. Режимы сушки: быстрая и медленная, соотношение скоростей массопереноса при этих режимах и особенности кристаллизации предшественников. Природа поверхностных центров кристаллизации. Основные стадии медленной сушки, влияние пористой структуры носителя, растворимости предшественника и его кристаллизации на различных этапах сушки на состояние нанесённого активного компонента в катализаторе. Соотношения для оценки массовой доли грубых частиц и характера распределения активного компонента по зерну носителя (по В.Б. Фенелонову), зависимость дисперсности активного компонента от его содержания на носителе. Влияние технологии сушки на распределение активного компонента по зерну носителя. Преимущества и недостатки нанесённых катализаторов, получаемых методом пропитки.</p>	1
<p>Тема 20. <i>Получение нанесенных однокомпонентных катализаторов методом адсорбции и осаждения.</i> Общая технологическая схема получения адсорбционных катализаторов. Типы адсорбционных взаимодействий. <i>Физическая адсорбция коллоидов</i> (дисперсионное и электростатическое взаимодействие с носителем), проблема удаления растворителя. Особенности распределения активного компонента в порах носителя для катализаторов, полученных адсорбцией стабилизированных и нестабилизированных коллоидов. <i>Ионообменная адсорбция:</i> ионный обмен и рН изоэлектрической точки носителя. Способы определения рН_{ИЭТ}. Значения рН_{ИЭТ} для оксидных и углеродных носителей. Подходы к вариации рН_{ИЭТ} у оксидных и углеродных носителей. Поверхностные функциональные группы кислотного-основного характера у оксидных и углеродных носителей, их термическая стабильность. Закономерности ионообменной сорбции соединений металлов (величина и скорость адсорбции как функция от рН раствора и рН_{ИЭТ} носителя, изотермы адсорбции) и осложнения (побочные процессы), возникающие при этом (гидролиз, полимеризация и деструкция комплексов металлов, растворение носителя). Закономерности формирования активного компонента из ионообменно сорбированных предшественников. <i>Комплексообразование:</i> типы реакций с функциональными группами углеродных и полимерных носителей и носителей с привитыми/закрепленными функциональными группами. Дисперсность активного компонента и её зависимость от его содержания в катализаторе, полученном методом комплексообразования. <i>Окислительно-восстановительная сорбция:</i> типы поверхностных реакций, особенности редокс-процессов на поверхности электропроводящих носителей и их влияние на дисперсность нанесенного металла и его распределение по зерну носителя. <i>Регулирование распределения активного компонента по зерну носителя в адсорбционных катализаторах:</i> тактика выбора конкурентных соединений, условия получения различных типов распределения активного компонента по зерну при использовании различных конкурентов. Достоинства и недостатки приготовления нанесённых катализаторов методом адсорбции. Получение катализаторов путём</p>	3

осаждения предшественников на носитель как разновидность адсорбционных методов.	
Тема 21. <i>Приготовление нанесенных многокомпонентных катализаторов.</i> Примеры би- или многокомпонентных нанесенных катализаторов и области их применения, влияние модифицирующих добавок на свойства нанесенных катализаторов. Классификация модифицирующих добавок по каталитической активности, способности к восстановлению и взаимодействию с основным компонентом. <i>Сплавы.</i> Твердые растворы, интерметаллические соединения, методы получения сплавов. <i>Способы приготовления нанесенных бикомпонентных катализаторов.</i> Совместное и раздельное нанесение. <i>Особенности формирования нанесенных катализаторов при совместном нанесении компонентов</i> в рамках различных методов приготовления (пропитка, адсорбция, осаждение) при отсутствии или наличии взаимодействия между компонентами. Достоинства нанесения биметаллических соединений: гетероядерных комплексов, карбонильных кластеров, смешанных солей, зольей, полиядерных гидроксокомплексов, двойных комплексных солей. Метод Пекини. <i>Особенности формирования нанесенных катализаторов при раздельном нанесении компонентов.</i> Синтезы катализаторов с использованием металлоорганических соединений, адсорбции неорганических соединений, метод Маргитфалви – поверхностно-контролируемых реакций.	1

Практические занятия (36 ч)

Содержание практического занятия	Объем, час
Семинар 1. Оптимальная пористая структура катализаторов, влияние их текстурных свойств на кинетику каталитических реакций.	2
Решение задач по Теме 3	1
Семинар 2. Основные механизмы и кинетические закономерности спекания массивных и нанесенных катализаторов.	2
Решение задач по Теме 4	1
Семинар 3. Способы получения зольей, факторы, определяющие стабильность растворов зольей.	2
Решение задач по Теме 5	1
Семинар 4. Методы получения пористых тел из композиционных материалов путём удаления одного из компонентов.	2
Решение задач по Теме 6	1
Семинар 5. Закономерности формирования пористой структуры изделий, получаемых методом таблетирования.	2
Решение задач по Теме 7	1
Семинар 6. Носители: их функции в катализаторе, принципы подбора. Обсуждение способов их приготовления – Темы 8-12.	3
Семинар 7. Приготовление массивных катализаторов методом осаждения. Расчет начала образования осадка и окончания осаждения.	2
Решение задач по Теме 13	1
Семинар 8. Регулирование удельной поверхности осадков гидроксидов при их кристаллизации по механизму ориентированного наращивания и получении по золь-гель методу.	2
Решение задач по Темам 14-15	1
Семинар 9. Приготовление многокомпонентных катализаторов методами соосаждения гидроксидов и механического смешения.	2

Решение задач по Темам 15-16	1
Семинар 10. Приготовление массивных катализаторов методом термической обработки. Методы термического анализа фазовых переходов и термохимических процессов.	2
Решение задач по Теме 17	1
Семинар 11. Приготовление нанесенных катализаторов методом пропитки	2
Решение задач по Темам 18-19	1
Семинар 12. Приготовление нанесенных катализаторов методом адсорбции и осаждения	2
Решение задач по Темам 20-21	1

Самостоятельная работа студентов (66 ч)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Закрепление и повторение пройденного учебного материала	6
Выполнение домашнего задания	8
Подготовка к контрольным работам	6
Изучение теоретического материала, не освещаемого на лекциях	5
Подготовка и написание реферата	15
Подготовка презентации для защиты реферата	4
Подготовка к экзамену	22

5. Перечень учебной литературы

Учебная литература, учебно-методические материалы и презентации лекционного курса предоставляются преподавателем в начале обучения в электронном виде.

1. Боресков, Г.К. Гетерогенный катализ. – М.:Наука, 1986. – 250 с.
2. Дзисько, В.А. Основы методов приготовления катализаторов. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1983. – 262 с.
3. Технология катализаторов. / Мухленов, И.П., Добкина, Е.И., Дерюжкина, В.И., Сороко, В.Е.; Под ред. И.П. Мухленова.– Изд. 2-е, перераб. – Л.: Химия, 1979. – 328 с.
4. Дзисько, В.А., Карнаухов, А.П., Тарасова, Д.В. Физико-химические основы синтеза окисных катализаторов. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1978. – 380 с.
5. Криворучко, О.П., Буянов, Р.А. Развитие теории кристаллизации малорастворимых гидроксидов и ее применение в научных основах приготовления катализаторов. // Все-союзная школа по катализаторам. Сб. трудов конф., – Новосибирск: Ин-т катализа СО АН СССР, 1981. – ч. 3. – С. 122-150.
6. Стайлз, Э.Б. Носители и нанесенные катализаторы. Теория и практика: пер с англ. под ред. А.А. Слинкина. – М.: Химия, 1991. – 240 с.
7. Ермаков, Ю.И., Захаров, В.А., Кузнецов, Б.Н. Закрепленные комплексы на окисных носителях в катализе. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1980. – 242 с.
8. Шабанова, Н.А., Попов, В.В., Саркисов, П.Д. Химия и технология нанодисперсных оксидов. – М: ИКЦ "Академкнига", 2006. – 309 с.
9. Конструкционные нанокристаллические материалы. Научные основы и приложения. / Коч, К., Овидько, И., Сил, С., Вепрек, С.; пер. с англ. под ред. проф. М.Ю. Гуткина. – М.:ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 448 с. – ISBN 978-5-9221-1395-3.
10. Вассерман, И.М. Химическое осаждение из растворов./ Под ред. В.Б. Глушковой и В.А. Кржижановской, Л.: Химия, 1980. – 208 с.

11. Современные подходы к исследованию и описанию процессов сушки пористых тел. / Под ред. В.Н. Пармона. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 300 с.
12. Классен, П.В., Гришаев, И.Г., Шомин, И.П. Гранулирование. — М.: Химия, 1991. – 240 с. – ISBN 5-7245-0203-8.
13. Оксиды титана, церия, циркония, иттрия и алюминия. Свойства, применение и методы получения / Исмагилов, З.Р., Кузнецов, В.В., Охлопкова, Л.Б., Цикоза, Л.Т. и др.; под ред. В.Н. Пармона. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 246 с.

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся

14. Пахомов, Н.А. Научные основы приготовления катализаторов: введение в теорию и практику / Отв. ред. В.А. Садыков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 262 с.
15. Промышленный катализ в лекциях / под ред. проф. А.С. Носкова. – М.: Калвис, 2005. – 136 с.
16. Романенко, А.В., Симонов, П.А. Углеродные материалы и их физико-химические свойства // Промышленный катализ в лекциях, вып. 7 / Под ред. А.С. Носкова. – М.:Калвис, 2007. – с. 7-110.
17. Химическая технология керамики. Уч. пособие. / Под ред. И.Я. Гузмана, М.: Химия, 2003.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

7.1 Ресурсы сети Интернет

Освоение дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет;
- «Российская национальная платформа открытого образования» (<http://openedu.ru/>), Coursera (www.coursera.org), edX (www.edx.org).

Взаимодействие обучающегося с преподавателем (синхронное и (или) асинхронное) осуществляется через личный кабинет студента в ЭИОС и электронную почту.

7.2 Современные профессиональные базы данных:

- Реферативно-поисковая база данных Reaxys (Elsevier),
- Реферативно-библиографические базы данных Scopus (Elsevier), ВИНТИ, Chemical Abstracts,
- Библиометрическая база данных Web of Science Core Collection (Thomson Reuters Scientific LLC.),
- Базы данных полнотекстовых научных журналов JSTOR, ScienceDirect,
- Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки (ЭБД РГБ),
- Электронные ресурсы российской научной библиотеки eLibrary.ru,
- Электронные ресурсы издательства American Chemical Society (ACS),
- Электронные ресурсы Freedom Collection издательства Elsevier,
- Электронные ресурсы издательства The Royal Society of Chemistry (RSC),
- Электронные ресурсы издательства Wiley.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.1 Перечень программного обеспечения

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

8.2 Информационные справочные системы

Не используются

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для реализации дисциплины *«Научные основы приготовления катализаторов»* используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронным базам данных и ресурсам, в том числе, в информационно-образовательную среду НГУ.

Для проведения занятий лекционного типа предлагаются следующие наборы демонстрационного оборудования и учебно-наглядных пособий:

- комплект лекций-презентаций по темам дисциплины;
- мультимедийные проекторы, ноутбуки и экраны.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Перечень результатов обучения по дисциплине *«Научные основы приготовления катализаторов»* и индикаторов их достижения представлен в разделе 1.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль успеваемости: решение домашних заданий, контрольных задач (2 контрольные), реферат и публичная защита реферата в виде устного доклада (за 2,5 недели до конца семестра).

Промежуточная аттестация: проводится в форме устного экзамена, на котором предлагается развернуто ответить на два достаточно больших вопроса по курсу дисциплины.

лины, включенных в билет. Дополнительно могут быть заданы 2-3 небольших вопроса, касающиеся тем, близких к основным вопросам. Допуск к экзамену разрешается при положительных оценках результатов текущего контроля успеваемости. В случае отличных результатов текущего контроля успеваемости, высокой активности студентов на семинарах и при коллективном обсуждении докладов по рефератам, где они могут продемонстрировать знание предмета, они могут получить итоговую оценку «отлично» за семестр без сдачи экзамена.

Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Научные основы приготовления катализаторов»

Таблица 10.1

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
С-ПК-2	С-ПК-2.2. Анализирует и обобщает отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования в выбранной области химии (химической технологии)	<ul style="list-style-type: none"> – <u>имеет представление</u> о роли научных основ приготовления катализаторов в комплексе задач и проблем катализа, связанных с созданием новых и усовершенствованием существующих промышленных катализаторов; об основных подходах к приготовлению различных носителей, одно- и многокомпонентных массивных и нанесенных катализаторов, а также их предшественников и полупродуктов для отдельных этапов синтеза; – <u>имеет опыт</u> написания реферата, содержащего анализ литературных данных по методам синтеза катализаторов, закономерностям формирования и свойствам получаемого при этом активного компонента 	Подготовленный реферат, презентация и устный доклад по реферату, выступление в обсуждении рефератов

Код компетенции	Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочное средство
С-ПК-4	С-ПК-4.1. Выбирает из литературных данных и разрабатывает новые схемы и методики синтеза (или выделения из природных объектов) соединений и материалов	<p>– <u>знает</u>, какие типы физико-химических процессов протекают на различных этапах синтеза носителей и катализаторов в рамках тех или иных методов приготовления, и какие из этих процессов в значительной степени определяют субструктурные и текстурные свойства получаемых материалов, состояние (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента, а также какие существуют механизмы отравления, спекания и механического разрушения катализаторов в ходе;</p> <p>– <u>умеет</u> формулировать требования к предполагаемой методике синтеза катализаторов или носителей при их заданных химических, субструктурных и текстурных свойствах, состоянии (дисперсность, химический и фазовый состав, распределение по зерну катализатора) активного компонента;</p> <p>– <u>способен</u> определять (на качественном или полуколичественном уровне) условия синтеза простых катализаторов в рамках того или иного метода для достижения заданного состояния активного компонента катализатора, осуществлять расчёт количеств реагентов (с учётом их чистоты и влажности) и вспомогательных материалов для приготовления образцов катализаторов и носителей определенного химического состава или требуемой пористой структуры</p>	Домашние задания. Контрольные задания. Экзамен

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
<p>Экзамен:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие исчерпывающих ответов на все вопросы с не принципиальными неточностями, – осмысленность, структурированность и аргументированность ответов, – точность и корректность применения терминов и понятий. 	<i>Отлично</i>
<p>Экзамен:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие достаточно полных ответов на основные вопросы при наличии затруднений в объяснении (без помощи наводящих вопросов) отдельных физико-химических процессов и явлений, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы, 	<i>Хорошо</i>

<ul style="list-style-type: none"> – осмысленность, структурированность и аргументированность ответов, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок. 	
<p>Экзамен:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие ответов на все вопросы, часть из которых неполные и/или с существенными ошибками, – достижение полноты ответов на дополнительные вопросы с помощью наводящих вопросов преподавателя, – осмысленность и структурированность в изложении материала, наличие ошибок аргументации и объяснении отдельных физико-химических процессов и явлений, – корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок. 	<i>Удовлетворительно</i>
<p>Экзамен:</p> <ul style="list-style-type: none"> – наличие ответов не на все вопросы, часть из которых – неполные и/или с существенными ошибками, – неспособность строить ответ с помощью наводящих вопросов преподавателя из-за незнания теоретического материала, – отсутствие осмысленности, структурированности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий. 	<i>Неудовлетворительно</i>

Типовые контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Темы рефератов

Тема реферата по научным основам приготовления катализаторов должна соответствовать тематике научно-исследовательской работы студента в лаборатории ИК СО РАН. Она согласовывается с его научным руководителем или преподавателем дисциплины.

Подготовка реферата

Реферат по дисциплине НОПК с устным докладом является введением в научно-исследовательскую практику студента в Институте. Он имеет целью привить студенту навыки самостоятельного поиска и анализа литературных данных по методам синтеза катализаторов и закономерностям формирования и свойствам получаемого при этом активного компонента. Реферат предполагает ознакомление с оригинальной научно-технической литературой – книгами, монографиями, статьями в научных журналах, патентами, работу с реферативной литературой, а также представление материала в форме научного отчета в конце семестра.

В соответствии с этим, в первые 1.5 месяца семестра студент предоставляет преподавателю название темы реферата, суть которой должна максимально отражать задачи и объекты научно-исследовательской практики студента. Тема реферата формулируется после согласования с руководителем научной практики студента или после обсуждения непосредственно с преподавателем дисциплины.

Выполнение реферата складывается из двух этапов.

Первый этап – поиск в имеющейся в научно-технической литературе информации о природе (фазовом и химическом составе, морфологии частиц) катализаторов, использующихся в интересующем каталитическом процессе, методам их приготовления, физико-химическим закономерностям формирования активного компонента (или носителей – в случае, если научно-практическая работа студента связана с приготовлением и исследова-

нием пористых материалов как носителей или адсорбентов), состоянии активного компонента (структура активных центров, её взаимосвязь с фазовым и химическим составом, кристаллохимией поверхности, с функциональными группами поверхности катализатора, распределение этих центров в порах или по зерну катализатора и др.) в конечном катализаторе, способам модификации свойств и активации катализаторов, причинам дезактивации в процессе эксплуатации и борьбе с ней. В случае если информация о физико-химическом состоянии активного компонента скудна, то можно принимать во внимание изменение каталитических свойств в зависимости от метода приготовления или способов обработок конечных катализаторов). Особое внимание следует уделять выявленным авторами работ подходам к целенаправленному управлению этими свойствами катализаторов на стадии их синтеза и последующих обработок (термообработка, модификация, формование). Соответствующая литература может быть рекомендована преподавателем, найдена студентом самостоятельно или предложена руководителями научной практики студента.

Второй этап – написание реферата (литературного обзора) по найденным литературным данным в соответствии с темой, заранее согласованной с преподавателем (см. выше).

Важной, завершающей частью выполнения реферата является его оформление согласно ГОСТ 7.32-2001 "Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления" (электронные сканы документа предоставляются преподавателем или заимствуются студентом из Интернет-ресурсов) и представление в общепринятой форме устного доклада (презентации). Использование российских государственных стандартов преследует цель приучить студентов к общепринятому оформлению научно-технической документации.

Реферат должен состоять из следующих частей: введение, литературный обзор, заключение (если требуется обобщение разрозненных информационных блоков), выводы, список использованной литературы (библиография).

1) *Введение*, в котором приводятся сведения о каком-либо каталитическом процессе, свойствах, промышленной и социальной значимости получаемых веществ, и сообщается о типах используемых промышленных и лабораторных катализаторов, общих представлениях о природе активных центров катализаторов и механизме каталитического процесса. Введение должно быть кратким, не более 1.5 страниц.

2) *Литературный обзор* посвящается методам синтеза катализаторов и закономерностям формирования катализаторов (или носителей – в случае, если научно-практическая работа студента связана с приготовлением и исследованием пористых материалов как носителей или адсорбентов) и физико-химическим свойствам получаемого при этом активного компонента (структура активных центров, её взаимосвязь с фазовым и химическим составом, кристаллохимией поверхности, с функциональными группами поверхности катализатора, распределение этих центров в порах или по зерну катализатора и др.), а также способам модификации свойств и активации катализаторов, причинам дезактивации в процессе их эксплуатации и борьбе с ней. Основное внимание следует уделять выявленным авторами работ подходам к целенаправленному управлению этими свойствами катализаторов на стадии их синтеза и последующих обработок (термообработка, модификация, формование). Литературный обзор не должен быть формальной сводкой литературы. Он должен содержать критический анализ литературных сведений и на этой основе подводить к общим выводам, касающимся научных основ приготовления рассматриваемых катализаторов.

3) *Заключение* обобщает информацию об особенностях приготовления отдельных групп катализаторов, устанавливая их общность и принципиальные отличия, по возможности кратко представляется весь набор и последовательность физико-химических явлений, приводящих, в конечном счёте, к формированию активного компонента, удовлетворяющему требованиям и условиям рассматриваемого каталитического процесса.

4) *Выводы* представляют в сжатой форме основные результаты анализа литературных данных с позиций НОПК.

5) *Библиография*. Список литературы, использованной при выполнении курсовой работы, приводится в конце документа, после выводов. Библиографические сведения в списке приводятся строго по правилам, которые определяются государственными стандартами (электронные сканы стандартов предоставляются преподавателем или заимствуются студентом из Интернет-ресурсов):

ГОСТ 7.1-84. "Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления" с изменениями от 1 июля 2000 г. (ИУС. - 1999. - N12);

ГОСТ 7.1-2003. "Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления";

ГОСТ 7.80-2000 "Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления";

ГОСТ 7.11-78 "Сокращение слов и словосочетаний на иностранных европейских языках в библиографическом описании произведений печати";

ГОСТ 7.82-2001 "СИБИД. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления";

ГОСТ 7.83-2001 "СИ-БИД. Электронные издания. Основные виды и выходные сведения".

Библиографическое описание иностранных изданий приводится на языке подлинника.

Объем работы рекомендуется ограничивать 15-20 страницами машинописного текста (шрифт – 12 pnt, интервал – 1.5 pnt). Работа должна быть оформлена с использованием ПК в текстовом редакторе *Word* и набором химических формул в любом из графических редакторов – *ISIS Draw*, *ChemDraw*, *ChemSketch* и др. Реферат сдается преподавателю 8–12 декабря и защищается на кафедре 16-20 декабря.

Студент докладывает полученные результаты в течение 8-10 мин в виде презентации, подготовленной с помощью редактора *PowerPoint*, излагая существо работы четко и ясно, иллюстрируя сказанное графиками, рисунками, схемами и таблицами.

Оценка за реферат складывается из четырёх параметров: первый – качество и объём выполненной работы; второй – качество оформления реферата; третий – доклад и ответы на поставленные на его защите вопросы, четвертый – активность в обсуждении докладов других студентов.

Студент, не предоставивший реферата и/или доклада, к экзамену не допускается.

Примеры задач для домашней и контрольной работы

1. Приготовление катализатора $\text{CuO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ состоит в пропитке гранул Al_2O_3 раствором соли по влагоёмкости методом окунания. Последующие сушка и прокаливание на воздухе приводят к конечному катализатору с 8%-ным содержанием меди. Предварительные эксперименты показали, что на стадии пропитки протекает адсорбция предшественников активного компонента, подчиняясь закону Генри (константа $K_r = 10-3$ л/г). Какова должна быть концентрация соли в исходном растворе, если его объём 1 л, а для приготовления катализатора использовано 200 г Al_2O_3 с объёмом пор $0.5 \text{ см}^3/\text{г}$?
Время пропитки достаточно для установления равновесий.
2. При осаждении на поверхность инертной пористой матрицы каталитически активного компонента (сокращённо – АК) происходит рост его частиц на некоторых поверхностных центрах, причём их количество не изменяется с увеличением массы наносимого АК. При каком процентном содержании АК будет получен катализатор с максимальной активной поверхностью на единицу веса катализатора?
Частицы АК считать кубическими, а блокировкой их поверхности в порах и стерическими затруднениями для их роста пренебречь.
3. Спекание нанесённых металлических катализаторов подчиняется закону:

$$d^n = d_0^n + kt / S$$

где d_0 и d – средние размеры металлических частиц в начале и через время t ,
 k – константа, а S – удельная поверхность носителя.

При спекании катализатора, представляющего собою металлические наночастицы с $d_0=1.5$ нм, равномерно нанесённые на однородно-пористый носитель с $S=400$ м²/г и $V_{\text{пор}}=0.45$ см³/г, значения d составили 2.5 нм через 60 мин и 3 нм через 115 мин. Можно ли путём спекания за «разумное» время достичь размеров частиц 5 нм?

Примеры экзаменационных вопросов:

1. Текстуры носителей и массивных катализаторов, их зависимость от условий приготовления. Представления об оптимальной пористой структуре катализатора.
2. Примеры влияния физико-химического состояния ионов в растворах на свойства получаемых массивных и нанесенных катализаторов.
3. Роль носителей в катализаторах. Основные способы получения носителей.
4. Типы распределения активного компонента по зерну носителя. Подходы к регулированию характера распределения активного компонента по зерну носителя и в его порах (на примере Pt/Al₂O₃ и др.).
5. Оксид алюминия в катализе. Физико-химические свойства. Получение различных оксидов алюминия дегидратацией гиббсита, байерита и псевдобемита. Способы регулирования текстурных свойств и химического состояния поверхности.
6. Основные способы получения нанесенных катализаторов. Характеристики нанесенного активного компонента.
7. Углеродные носители в катализе. Их физико-химические свойства, основные методы получения и регулирования химического состояния поверхности.
8. Соосаждение гидроксидов как метод приготовления многокомпонентных катализаторов. Классификация уровней взаимодействия гидроксидов на стадии соосаждения.
9. Основные этапы получения массивных катализаторов методом осаждения. Химические подходы и технологические приёмы осаждения.
10. Коллоидные соединения как предшественники нанесенных катализаторов. Достоинства и недостатки использования коллоидов.
11. Зависимость свойств осадков от способа осаждения и основных параметров стадии осаждения.
12. рН изоэлектрической точки носителей, способы её определения. Зависимость от заряда катиона и структуры оксидных носителей, роль примесей. рН_{изт} носителя и регулирование интенсивности ионного обмена на его поверхности.
13. Общая схема формирования осадков индивидуальных гидроксидов при коллоидно-химическом осаждении. Причины старения осадков под маточным раствором и основные процессы, протекающие при старении.
14. Принципы классификации катализаторов.
15. Основы классической теории конденсации (кристаллизации).
16. Механическая прочность массивных тел. Механизмы разрушения и природа сил, вызывающих разрушение. Адгезионная прочность и работа адгезии. Теория Ребиндера-Щукина. Способы повышения прочности пористых твердых тел.
17. Физико-химические аспекты золь-гель метода осаждения однокомпонентных систем (на примере алкоксидов как предшественников).
18. Механизмы дезактивации катализаторов. Основные подходы к увеличению срока службы катализаторов.
19. Силикагель и его физико-химические свойства. Особенности формирования текстуры силикагелей при получении по золь-гель методу и через коагель.
20. Основные проблемы катализа. Цели и задачи научных основ приготовления катализаторов. Связь НОПК с другими дисциплинами.

21. Особенности кристаллизации труднокристаллизующихся гидроксидов. Теория кристаллизации по механизму ориентированного наращивания.
22. Типы распределения активного компонента по зерну носителя в нанесенных катализаторах. Причины возникновения его неравномерного распределения при получении адсорбционно-пропиточных катализаторов.
23. Получение многокомпонентных катализаторов методом механического смешения. Способы интенсификации процесса смешения. Механохимический синтез.
24. Основные характеристики нанесенных катализаторов, их зависимость от условий приготовления.
25. Современные тенденции в области развития методов синтеза нанесенных катализаторов.
26. Классификация гидроксидов металлов по физико-химическим свойствам и кинетике старения в зависимости от заряда катиона в гидроксиде.
27. Термообработка катализаторов. Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении солей и гидроксидов.
28. Механизмы адсорбции соединений металлов на поверхности оксидных и углеродных носителей. Прогнозирование адсорбционных свойств носителей в отношении растворённых предшественников катализаторов.
29. Спекание пористых тел. Факторы, влияющие на кинетику спекания массивных катализаторов.
30. Основные проблемы приготовления нанесенных многокомпонентных систем в рамках различных методов синтеза катализаторов. Подходы к достижению однородности состава частиц активного компонента.
31. Твердофазные реакции. Взгляды на механизмы твердофазного взаимодействия оксидов. Факторы, определяющие глубину твердофазного взаимодействия.
32. Формование массивных катализаторов и носителей методом таблетирования: основные способы и их особенности.
33. Основные достоинства и проблемы приготовления двухкомпонентных оксидных систем золь-гель методом (через алкоксиды).
34. Физико-химические основы метода термохимической активации кристаллических соединений. Термохимическая активация гиббсита, свойства получаемого продукта.
35. Термическая стабильность нанесенных катализаторов и общие подходы к её повышению. Редиспергирование катализаторов.
36. Общие представления о процессах, протекающих при формировании нанесённых катализаторов. Пропиточные и сорбционные катализаторы. Уравнение материального баланса пропитки.
37. Основные синтетические пористые оксидные материалы. Сравнение их физико-химических свойств. Сферы их применения в катализе.
38. Закономерности формирования активного компонента в катализаторах, получаемых методом пропитки. Однократная и многократная пропитки.
39. Основные механизмы изменения удельной поверхности при приготовлении катализаторов (по В.Б. Фенелонову).
40. Особенности формирования нанесенных монометаллических катализаторов при их получении методом соосаждения гидроксидов.
41. Оксид магния в катализе. Методы получения и физико-химические свойства.
42. Функциональные группировки на поверхности традиционных носителей и их роль в формировании нанесенных катализаторов.
43. Оксид титана в катализе. Методы получения и физико-химические свойства.
44. Нанесенные биметаллические катализаторы. Классификация модифицирующих добавок. Факторы, определяющие формирование нанесённых сплавов.
45. Спинодальный распад. Условия возникновения и закономерности протекания в сравнении с классической кристаллизацией.

46. Исходные вещества для синтеза катализаторов: виды, выбор, подготовка.
47. Термическая стабильность массивных катализаторов и носителей. Процессы, вызываемые повышением температуры. Факторы, затрагивающие спекаемость пористых поликристаллических тел. Подходы к повышению их термической стабильности.
48. Золи в катализе. Характеристики, стабильность, методы получения.
49. Активированные угли как носители для катализаторов, их получение и регулирование текстурных свойств.
50. Пластическое формование (метод экструзии). Требования к исходному сырью и реологии формовочной массы. Проблемы сушки изделий, полученных пластическим формованием.
51. Нетрадиционные методы приготовления носителей и катализаторов.
52. Формование катализаторов и носителей. Технологические приёмы формования. Типы аппаратов для формования.
53. Основные этапы и методы приготовления катализаторов.
54. Методы получения дисперсных систем.
55. Технологии получения носителей на основе Al_2O_3 .
56. Приготовление нанесенных однокомпонентных катализаторов методом осаждения из растворов. Основные закономерности формирования активного компонента.

Оценочные материалы по промежуточной аттестации (приложение 2), предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям ФГОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины
«Научные основы приготовления катализаторов»**

№	Характеристика внесенных изменений (с указанием пунктов документа)	Дата и № протокола Ученого совета ФЕН	Подпись ответственного