

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ
Исполнительный директор
программы развития,
руководитель научно-
исследовательской политики
Г.Н. Суворов
«25» _____ 2026 г.



ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ
**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИГОТОВЛЕНИЯ
АДСОРБЕНТОВ И КАТАЛИЗАТОРОВ**
Научная специальность 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

1. Паспорт оценочных материалов по дисциплине

№ п/п	Темы дисциплины (модуля) / Разделы (этапы) практики* в ходе текущего контроля, вид промежуточной аттестации (зачет, с указанием семестра)	Код и содержание компетенции	Оценочные материалы (виды и количество)
1	2	3	4
1.	Введение в физико-химические основы приготовления катализаторов и адсорбентов. Классификация и основные характеристики	ПК-1 - способность к использованию профильно-специализированных знаний в области физической химии, катализа, тепло- и массопереноса, теории каталитических реакторов для решения научных и практических задач, возникающих при изучении и создании ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности; ПК-2 - применять фундаментальные знания в области физической адсорбции для решения научных и практических задач, возникающих при создании ресурсо- и энергосберегающих технологий и аппаратов на основе адсорбционных процессов; ПК-3 - способность к использованию профильно-специализированных знаний в области приготовления катализаторов, адсорбентов и носителей для решения задач, возникающих при изучении и создании ресурсо- и энергосберегающих процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности	Работа с литературой, источниками
2.	Подготовка и синтез исходных веществ. Носители катализаторов: свойства, методы получения и модификации		Работа с литературой, источниками
3.	Методы нанесения активных компонентов на носители: физико-химические подходы		Работа с литературой, источниками. Практические задания (расчёт параметров нанесения)
4.	Термическая обработка и нетрадиционные методы приготовления катализаторов и адсорбентов		Работа с литературой, источниками. Анализ режимов обработки. Доклад на семинаре (по инновационным методам)
5.	Аналитические методы исследования свойств катализаторов и адсорбентов		Работа с литературой, источниками. Подготовка протоколов анализа
6.	Масштабирование процессов приготовления. Практические аспекты внедрения катализаторов и адсорбентов		Работа с литературой, источниками. Расчётно-графические работы (оценка эффективности масштабирования). Доклад на семинаре (кейс внедрения)
7.	Анализ примеров классификации и характеристик катализаторов и адсорбентов		Работа с литературой, источниками
8.	Расчётные задачи по подготовке исходных веществ и получению носителей		Работа с литературой, источниками
9.	Моделирование процессов нанесения активных компонентов на носители		Работа с литературой, источниками
10.	Оценка влияния термической обработки и нетрадиционных методов на свойства		Работа с литературой, источниками

11.	Исследование свойств методами анализа, вопросы масштабирования и внедрения. Представление результатов	Работа с литературой, источниками. Презентация результатов исследования
12.	Дифференцированный зачет (4 семестр)	Устный опрос

Оценочное средство 1. Работа с литературой, источниками

Проводится в форме самостоятельной работы аспиранта с обязательным последующим обсуждением на практическом занятии. Может быть организована как индивидуальная работа или работа в малых группах. Цель – формирование навыков поиска, анализа, систематизации и критической оценки научно-технической информации по тематике приготовления катализаторов и адсорбентов.

Для подготовки необходимо изучить рекомендованную основную и дополнительную литературу, а также материалы периодических научных изданий (журналы «Катализ в промышленности», «Кинетика и катализ», «Журнал физической химии» и др.). Аспирант должен составить краткий конспект (тезисы) по ключевым вопросам темы, выделить основные физико-химические закономерности, подготовить не менее 2-3 вопросов для обсуждения.

Контроль осуществляется в форме устного собеседования на практическом занятии, где аспирант демонстрирует понимание материала, способность аргументированно излагать позицию и отвечать на уточняющие вопросы преподавателя.

Пример

Тема: Носители катализаторов: свойства, методы получения и модификации

Вопросы для обсуждения после работы с литературой:

1. Какие основные типы носителей катализаторов вам известны? Приведите примеры оксидных, углеродных и цеолитных носителей.
2. Как удельная поверхность и пористая структура носителя влияют на дисперсность активного компонента?
3. Какие методы модификации поверхности носителей позволяют повысить термическую стабильность катализатора?
4. В чём различие между инертным и активным носителем? Приведите примеры.
5. Какие требования предъявляются к носителям для катализаторов процессов гидроочистки?

Оценочное средство 2. Практические задания (расчёт параметров нанесения)

Проводится на практических занятиях в форме индивидуального или группового решения расчетно-аналитических задач. Цель – формирование умений применять теоретические знания для расчёта технологических параметров процессов приготовления катализаторов.

Объём задания – 1-2 задачи на занятие. Время выполнения – 15-30 минут. Допускается использование справочных материалов и калькуляторов. Результатом является письменное решение с указанием формул, подстановкой значений и выводом.

Контроль осуществляется путём проверки правильности расчётов, обоснованности выбора формул и корректности интерпретации полученных результатов.

Пример

Тема: Методы нанесения активных компонентов на носители

Задача 1. Рассчитайте необходимое количество раствора нитрата никеля ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$) с концентрацией 0,5 моль/л для пропитки 100 г оксида алюминия ($\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) с влагоёмкостью 0,8 мл/г методом начальной влагоёмкости (пропитка по влагоёмкости). Определите массовую долю NiO (в масс. %) в полученном катализаторе после прокаливания. Молярная масса $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 = 182,7$ г/моль, NiO = 74,7 г/моль.

Задача 2. Для приготовления катализатора $\text{CuO}/\text{ZnO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ методом соосаждения из смеси нитратов меди, цинка и алюминия используется 10%-ный раствор Na_2CO_3 в качестве осадителя. Объём раствора солей – 500 мл, суммарная концентрация катионов $\text{Me}^{2+} = 1,2$ моль/л. Рассчитайте

теоретический объём раствора осадителя (в мл), необходимый для полного осаждения гидроксидов (стехиометрическое соотношение).

Оценочное средство 3. Анализ режимов обработки

Проводится на практических занятиях в форме кейс-анализа или сравнительной оценки. Аспиранту предлагается описание конкретного технологического режима термической обработки, который необходимо проанализировать, оценить его влияние на структуру и свойства катализатора, выявить возможные недостатки и предложить оптимальные параметры.

Форма выполнения – письменный анализ (объём 1-2 стр.) или устное обсуждение с презентацией выводов. Время подготовки – 15-20 минут.

Контроль осуществляется по критериям: полнота анализа, аргументированность выводов, учёт физико-химических основ процесса.

Пример

Тема: Термическая обработка катализаторов и адсорбентов: влияние на структуру и свойства

Кейс 1. При приготовлении $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$ катализатора методом пропитки образец после сушки (120°C , 12 ч) подвергают прокаливанию на воздухе при 450°C в течение 4 ч. Затем катализатор восстанавливают в токе водорода при 500°C в течение 3 ч. Проанализируйте:

- Какие физико-химические процессы (дегидратация, разложение, фазовые превращения) происходят на каждом этапе термической обработки?
- Как изменение температуры прокаливания до 600°C может повлиять на дисперсность NiO и последующую активность восстановленного катализатора?
- Предложите альтернативный режим термической обработки для получения более высокой дисперсности активного компонента.

Кейс 2. Адсорбент на основе цеолита NaX прокаливают при 550°C для удаления темплата и воды. При этом наблюдается частичная деструкция кристаллической решётки и снижение адсорбционной ёмкости. Предложите оптимальные условия термической обработки (температура, скорость нагрева, атмосфера), которые позволят сохранить структуру цеолита и обеспечить высокую адсорбционную способность.

Оценочное средство 4. Подготовка протоколов анализа

Проводится после выполнения лабораторных или практических работ по исследованию физико-химических свойств катализаторов и адсорбентов. Цель – формирование навыков документирования, обработки и представления экспериментальных данных в формате, принятом в научно-исследовательской практике.

Протокол должен включать: цель работы, характеристику образца, описание метода анализа, полученные экспериментальные данные (таблицы, графики, спектры, дифрактограммы), расчёты (удельная поверхность, объём пор, размер кристаллитов), интерпретацию результатов и выводы.

Объём протокола – 3-5 страниц. Время выполнения – до 1 недели.

Контроль осуществляется преподавателем по критериям: полнота и корректность обработки данных, правильность расчётов, обоснованность интерпретации, соответствие требованиям к оформлению научно-технической документации.

Пример

Тема: Аналитические методы исследования свойств катализаторов и адсорбентов

Примерная структура протокола анализа пористой структуры методом низкотемпературной адсорбции азота:

Объект исследования: образец катализатора $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ (0,5% Pt).

Метод анализа: статическая volumетрическая адсорбция азота при 77 К на анализаторе ASAP 2020.

Экспериментальные данные:

- Изотерма адсорбции-десорбции (привести график);
- Данные в табличной форме (P/P_0 , V_{ads} , $\text{см}^3/\text{г}$).

Расчёты:

1. Удельная поверхность по БЭТ (с указанием диапазона P/P_0);
2. Удельный объём пор по методу БДХ (ВН);

3. Распределение пор по размерам (привести гистограмму);
4. Микропористый объём (t-plot метод).
5. Интерпретация результатов:
6. Тип изотермы и петли гистерезиса (по классификации IUPAC);
7. Характер пористости (микро-, мезо-, макропоры);
8. Влияние пористой структуры на каталитическую активность.
9. Выводы: заключение о текстурных характеристиках образца.

Оценочное средство 5. Расчётно-графические работы (оценка эффективности масштабирования)

Проводится в форме самостоятельной работы, включающей расчёты технологических и экономических показателей при масштабировании процесса приготовления катализатора от лабораторного до пилотного уровня.

Объём работы – 5-10 страниц расчётно-пояснительной записки, включая таблицы и графики. Время выполнения – 2-3 недели. Работа выполняется индивидуально или в малых группах (2-3 человека).

Контроль осуществляется путём проверки расчётов, обоснованности выбора масштабного перехода, анализа возможных искажений свойств при масштабировании и экономической оценки.

Пример

Тема: Масштабирование процессов приготовления от лабораторных к пилотным и промышленным условиям

Задание. Лабораторный метод приготовления катализатора Fe-ZSM-5 для селективного каталитического восстановления (SCR) NO_x аммиаком включает:

1. гидротермальный синтез цеолита (автоклав 0,5 л);
2. ионный обмен с раствором Fe(NO₃)₃;
3. фильтрацию, промывку, сушку (110°C);
4. прокаливание (550°C, 4 ч).

Требуется разработать пилотную установку с масштабным коэффициентом 100 (объём реактора синтеза 50 л).

В расчётно-графической работе необходимо:

- Рассчитать пересчёт параметров синтеза (концентрации, температуры, времени) с учётом тепломассообменных ограничений при масштабировании.
- Предложить тип оборудования для каждой стадии (реактор синтеза, фильтр-пресс, сушилка, муфельная печь) с обоснованием выбора.
- Оценить, как изменятся характеристики катализатора (степень обмена железа, размер кристаллитов, пористость) при масштабировании.
- Выполнить укрупнённый расчёт капитальных и эксплуатационных затрат на пилотную установку.
- Сделать вывод о технологической и экономической целесообразности масштабирования.

Оценочное средство 6. Доклад на семинаре

Проводится в форме публичного выступления с обязательной презентацией на 5-10 минут по результатам самостоятельного научно-исследовательского обзора. Аспирант выбирает тему из примерного перечня или формулирует самостоятельно (при согласовании с преподавателем). Подготовка включает анализ не менее 5-7 научных статей из рецензируемых журналов (желательно Scopus/WoS или РИНЦ).

Структура доклада: актуальность, цель обзора, основные методы/подходы, сравнительная характеристика, примеры, выводы, перспективы. Презентация должна содержать 8-12 слайдов.

Контроль осуществляется преподавателем и аудиторией по критериям: глубина проработки материала, критический анализ источников, логичность изложения, качество визуального сопровождения, ответы на вопросы.

Примерная тематика докладов на семинар

1. Нетрадиционные методы приготовления катализаторов и адсорбентов: инновации и перспективы

2. Применение сверхкритических флюидов (CO₂, вода) для синтеза наноразмерных катализаторов: преимущества и ограничения.
3. Микроволновая активация при приготовлении цеолитных адсорбентов: влияние на скорость кристаллизации и текстуру.
4. Плазмохимический синтез металлосодержащих катализаторов: формирование высокодисперсных активных центров.
5. Золь-гель метод получения оксидных носителей с контролируемой пористой структурой.
6. Гидротермальный и сольвотермальный синтез металл-органических каркасных структур (MOF) для адсорбционных приложений.
7. Механохимическая активация как экологичная альтернатива классическому осаждению при синтезе катализаторов.

Оценочное средство 7. Презентация результатов исследования

Проводится на заключительном занятии (Тема 11) как итоговая работа по курсу. Аспирант представляет результаты собственного научного исследования (экспериментального или теоретического), выполненного в рамках дисциплины. Исследование может включать анализ литературных данных, расчёты, обработку экспериментальных данных (в том числе полученных на лабораторном оборудовании), предложение нового метода или оптимизацию существующего.

Формат выступления – 10-12 минут, презентация 10-15 слайдов, обязательно наличие научного аппарата (цель, задачи, методы, результаты, обсуждение, выводы). Возможно представление результатов в формате стендового доклада.

Контроль осуществляется комиссией преподавателей и аспирантов с оценкой научной новизны, достоверности, практической значимости, качества оформления и защиты.

Примерная структура презентации

Название работы – актуальная проблема приготовления катализатора/адсорбента.

- Цель и задачи исследования.
- Объекты и методы (исходные вещества, методы синтеза, аналитическое оборудование).
- Экспериментальная часть – дизайн эксперимента, условия синтеза.
- Результаты – графики, таблицы, спектры, микрофотографии, дифрактограммы.
- Обсуждение – интерпретация полученных данных, сравнение с литературными.
- Выводы – основные научные и прикладные результаты.
- Перспективы – дальнейшие исследования или рекомендации по внедрению.

Оценочное средство 8. Дифференцированный зачет (4 семестр)

Проводится в форме устного собеседования по вопросам, охватывающим все темы дисциплины. Форма проведения – индивидуальное собеседование с преподавателем. Аспирант получает 2-3 вопроса из утверждённого перечня (примерный перечень приведён ниже). Время подготовки ответа – до 20 минут. Ответ должен быть развёрнутым, демонстрировать понимание физико-химической сущности процессов, знание методов приготовления и анализа, способность применять знания для решения практических задач.

Критерии оценки: полнота и глубина ответа, владение терминологией, способность приводить примеры, аргументированность, ответы на дополнительные вопросы.

Примерный перечень вопросов к дифференцированному зачету:

1. Перечислите основные этапы приготовления катализаторов методом пропитки. От каких параметров зависит распределение активного компонента по зерну носителя?
2. Классификация методов приготовления катализаторов и адсорбентов. Преимущества и недостатки осаждения, пропитки, механического смешения, ионного обмена.
3. Какие факторы определяют выбор носителя для конкретного каталитического процесса? Приведите примеры.
4. Физико-химические основы метода соосаждения. Влияние pH, температуры, скорости добавления осадителя и перемешивания на свойства осадка.

5. Процессы, протекающие при термической обработке катализаторов (сушка, прокаливание, восстановление, сульфидирование). Их влияние на фазовый состав и текстуру.
6. Метод начальной влажёмкости (пропитка по влажёмкости): сущность, достоинства, ограничения. Как рассчитать необходимый объём раствора?
7. Нетрадиционные методы синтеза катализаторов: золь-гель метод, гидротермальный синтез, микроволновой синтез, механохимическая активация. Примеры.
8. Основные методы контроля пористой структуры адсорбентов: БЭТ, БДХ, t-plot, ртутная порометрия. Какую информацию даёт каждый метод?
9. Принципы масштабирования процессов приготовления катализаторов. Какие параметры сохраняют постоянными (критерии подобия) при масштабном переходе?
10. Что такое «эффективность масштабирования»? Какие технологические и экономические факторы необходимо оценивать?
11. Физико-химические основы ионного обмена как метода приготовления катализаторов. Примеры (цеолиты, синтез металлосодержащих материалов).
12. Требования к исходным веществам для синтеза катализаторов. Методы очистки прекурсоров. Влияние примесей на свойства конечного продукта.
13. Современные методы исследования морфологии и элементного состава катализаторов: СЭМ, ПЭМ, ЭДС, РФА. Что можно определить?
14. Экологические аспекты приготовления катализаторов. Снижение отходов, использование безопасных растворителей, рециклинг промывных вод.
15. Роль дисперсности и однородности смешения при приготовлении катализаторов методом механического смешения. Примеры промышленных технологий.

Оценка *«отлично»* выставляется обучающемуся, который дает полный, развернутый ответ на все поставленные вопросы, раскрывает основные положения темы. Обучающийся показывает умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи в процессах приготовления катализаторов и адсорбентов. В ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, методов и физико-химических явлений. Ответ излагается литературным языком с использованием научных терминов.

В ответе должна быть отражена физико-химическая картина описываемых процессов: аспирант должен знать этапы и методы приготовления катализаторов (осаждение, пропитка, механическое смешение, нанесение активных компонентов), физико-химические основы термической обработки, типы и свойства носителей, методы анализа пористой структуры и текстурных характеристик, а также нетрадиционные (инновационные) методы синтеза. Обучающийся должен уметь анализировать влияние параметров процесса на структурно-фазовые характеристики продукта, подбирать оптимальные режимы термической обработки, обосновывать выбор метода приготовления для получения катализатора с заданными свойствами, а также демонстрировать способность к масштабированию лабораторных процессов и оценке их технологической эффективности. Обучающийся свободно владеет навыками интерпретации экспериментальных данных и может предложить пути внедрения инновационных методов в существующие технологические схемы.

Оценка *«хорошо»* выставляется обучающемуся, который дает верный ответ на поставленные вопросы, раскрывает основные положения темы; показывает умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи в процессах приготовления катализаторов и адсорбентов. Однако в ответе не прослеживается четкая структура, логическая последовательность, ответ излагается недостаточно грамотно. Обучающийся демонстрирует знание основных этапов и методов приготовления катализаторов, но испытывает затруднения при анализе влияния параметров процесса на структурно-фазовые характеристики или при обосновании выбора оптимальных режимов обработки. Допускает незначительные ошибки в терминологии, которые исправляет при дополнительных вопросах преподавателя.

Оценка *«удовлетворительно»* выставляется обучающемуся, который дает неполный ответ на поставленные вопросы, раскрывает не все основные положения темы. Обучающийся показывает недостаточное умение выделять существенные признаки и причинно-следственные связи в процессах приготовления катализаторов и адсорбентов. В ответе не прослеживается четкая

структура, логическая последовательность, ответ излагается недостаточно грамотно. Обучающийся знает отдельные методы приготовления катализаторов и типы носителей, но не может проанализировать их влияние на свойства конечного продукта. Затрудняется в подборе оптимальных режимов термической обработки и не демонстрирует способности к масштабированию процессов. Допускает существенные ошибки в терминологии и физико-химической интерпретации процессов.

Оценка *«неудовлетворительно»* выставляется обучающемуся, который дает неполный ответ, представляющий собой разрозненные знания по теме вопроса с существенными ошибками в определениях. В ответе присутствует фрагментарность, нелогичность изложения; обучающийся не осознает связь между методами приготовления, свойствами носителей и активностью катализатора. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная, научная терминология не используется или используется некорректно. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа обучаемого не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины, либо обучающийся отказывается от ответа. Обучающийся не демонстрирует понимания физико-химических основ приготовления катализаторов и адсорбентов, не владеет методами анализа свойств и не способен применять полученные знания для решения научных и практических задач.