

Программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями, утвержденными Приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.08.2021 № 951 и локальными нормативными актами ИК СО РАН.

Составители рабочей программы:

Старший научный сотрудник, к.х.н.

(должность, ученое звание, ученая степень)


(подпись)

А.И. Лышков
(Ф.И.О.)

Старший научный сотрудник, к.х.н.

(должность, ученое звание, ученая степень)


(подпись)

Л.М. Ковтунова
(Ф.И.О.)

Научный сотрудник, к.х.н.

(должность, ученое звание, ученая степень)


(подпись)

Д.В. Марковская
(Ф.И.О.)

Рабочая программа утверждена на заседании Ученого совета ИК СО РАН
«19» июля 2024 г., протокол № 12

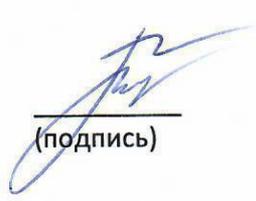
Ученый секретарь,
к.х.н.


(подпись)

Ю.В. Дубинин
(Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора по научной работе,
к.х.н.


(подпись)

Д.И. Потемкин
(Ф.И.О.)

1. Цели освоения дисциплины

Цель изучения дисциплины «Кинетика и катализ» – формирование у аспирантов углубленных профессиональных знаний по кинетике и катализу и готовности к самостоятельной научно-исследовательской деятельности.

2. Место дисциплины в структуре программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.4.14. Кинетика и катализ, направленность Кинетика и катализ.

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)» образовательного компонента программы аспирантуры. Преподается в шестом семестре на третьем курсе.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Способность осуществлять поиск и разработку новых катализаторов и каталитических композиций, усовершенствованию существующих катализаторов для проведения новых химических реакций, ускорения известных реакций и повышения их селективности
--

Способность к разработке и усовершенствованию промышленных катализаторов, методов их производства и оптимального использования в каталитических процессах

Способность планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических, физических и физико-химических задач

Знание физико-химических основ процессов приготовления адсорбентов и катализаторов
--

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать:

- основные понятия химической кинетики, теоретические основы кинетики простых и сложных реакций, включая реакции с участием ферментов и катализаторов;
- определение катализа, историю его и развития, теоретические основы гомогенного и гетерогенного катализа;
- закономерности протекания промышленных каталитических процессов;
- физико-химические основы приготовления катализаторов;
- природу каталитического действия основных гомогенных и гетерогенных катализаторов;
- теоретическую основу физико-химических методов исследования образцов;

Уметь:

- обосновать выбор метода приготовления катализаторов для конкретного процесса;
- устанавливать взаимосвязь между структурой катализатора и его каталитической активностью;

Владеть навыками:

- расчета равновесного состава каталитической реакции;
- определения скорости простых и сложных реакций, включая каталитические реакции.

4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы/108 часов

	Объём часов / зачетных единиц
Всего	108/3
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	18
в том числе:	

лекции	-
практические занятия (семинары)	18
лабораторные занятия	
Самостоятельная работа аспиранта (всего)	86
Контроль: кандидатский экзамен	4

5. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Практ. зан.	Лаб. зан.	СРА	Контроль	Всего
1	Равновесная химическая термодинамика		4		2		6
2	Формальная кинетика простых реакций		2		2		4
3	Формальная кинетика сложных реакций		2		2		4
4	Метод квазистационарных концентраций		2		2		4
5	Квазиравновесное приближение		2		2		4
6	Кинетика химических реакций в открытых системах		2		2		4
7	Кинетика гетерогенных каталитических реакций		2		2		4
8	Адсорбция, приготовление катализаторов и адсорбентов		2		2		4
9	Подготовка к кандидатскому экзамену				70		70
10	Кандидатский экзамен					4	4
	Итого			18	86	4	108

6. Содержание дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
Практические занятия		
1	Равновесная химическая термодинамика	Первое начало термодинамики, термохимия. Энтропия. Второе и третье начала термодинамики. Термодинамические потенциалы. Химический потенциал. Химическое равновесие в идеальных газах. Химическое равновесие в неидеальных системах.
2	Формальная кинетика простых реакций	Основные понятия и определения химической кинетики. Простые реакции. Запись кинетических уравнений. Определение порядка реакции. Нахождение энергии активации и эффективной константы скорости.
3	Формальная кинетика сложных реакций	Сложные реакции. Обратимые реакции. Принцип детального равновесия. Интегрирование кинетических уравнений обратимых реакций. Последовательные реакции. Параллельные реакции. Получение кинетических кривых для мономолекулярных и бимолекулярных параллельных реакций. Смешанные реакции. Методы интегрирования кинетических уравнений.
4	Метод квазистационарных концентраций	Метод квазистационарных концентраций. Критерии применимости.
5	Квазиравновесное приближение	Метод квазиравновесных концентраций. Критерий применимости.

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела
6	Кинетика химических реакций в открытых системах	Реакции при постоянном давлении. Использование химической переменной на примере газовой реакции. Реакции в открытых системах. Реактор идеального смешения. Реактор идеального вытеснения.
7	Кинетика гетерогенных каталитических реакций	Гетерогенный катализ. Механизмы Или-Ридила и Лэнгмюра-Хиншельвуда.
8	Адсорбция, приготовление катализаторов и адсорбентов	Адсорбционные равновесия. Основные взаимосвязи между параметрами пористой структуры адсорбентов. Формирование текстуры пористых материалов. Формирование нанесённых катализаторов и адсорбентов.

7. Самостоятельная работа аспирантов

Цель самостоятельной работы – закрепление, углубление и приобретение навыков применения теоретических знаний в практической работе, умения целенаправленно творчески работать с учебной, научной специальной литературой.

В самостоятельную работу аспирантов включается также подготовка к письменной контрольной работе – первому этапу кандидатского экзамена, систематизация теоретического материала по вопросам устного этапа кандидатского экзамена.

7.1 Вопросы для подготовки к устному этапу экзамена

1. Теоретические основы химической кинетики и катализа

1.1. Формальная кинетика. Основные понятия и определение кинетики (Прямая и обратная задачи. Закон действующих масс. Составление кинетических уравнений. Типы химических реакций). 1.1.1. Простые реакции (Типичные значения кинетических параметров. Молекулярность и порядок реакции). 1.1.1.1. Способы определения кинетических параметров (Понятие общего порядка реакции и по компонентам. Методы начальных скоростей, псевдоизоляции, анаморфоз, характерных времен, одной кинетической кривой). 1.1.1.2. Способы определения кинетических констант, энергии активации, предэкспонента (Уравнение Аррениуса. Дифференциальная форма нахождения наблюдаемых порядков реакции и энергии активации). 1.1.2. Сложные реакции (Классификация сложных реакций и способы их описания: наблюдаемые параметры. Понятие механизм). 1.1.2.1. Последовательные реакции (Нахождение особых точек процесса). 1.1.2.2. Обратимые реакции (Выход на равновесие. Принцип детального равновесия и его основные выводы). 1.1.2.3. Параллельные реакции (Способы решения систем кинетических уравнений). 1.1.3. Основные приближения химической кинетики. 1.1.3.1. Квазистационарное приближение (Преимущества и условие применимости). 1.1.3.2. Квазиравновесное приближение (Преимущества и условие применимости). 1.1.4. Открытые системы (Условие сохранения общего давления. Сравнение с реакциями в замкнутом объеме. Учет изменения объема во время проведения процесса. Реактора. Условия пренебрежения изменением объема реагентов). 1.1.4.1. Реактор идеального перемешивания (Выход на стационарный режим работы. Основное уравнение в стационарном режиме. Применение). 1.1.4.2. Реактор идеального вытеснения (Выход на стационарный режим работы. Основное уравнение в стационарном режиме. Применение). 1.1.4.3. Понятие времени контакта (Корректная оценка значения. Сравнение характерных времен протекания химической реакции, диффузии реагентов и выхода на стационарный режим работы реактора).

1.2. Способы корректировки, расчета и оценки констант химических реакций. 1.2.1. Теория двойных соударений (Понятия среднеквадратичной скорости реагентов, сечения соударений, стерического фактора и барьера. Диффузионно-кинетический контроль реакции. Эффективная и диффузионная константа. Частота соударений, длина свободного пробега и коэффициент диффузии. Уравнение

Стокса-Эйнштейна). 1.2.2. Реакция со стенкой (Кинетическая, диффузионная и эффективная константы. Влияние геометрии сосуда. Понятие активационного барьера реакции со стенкой.). 1.2.3. Теория активированного комплекса (Вариационная формулировка. Основные вклады в константу скорости. Температурная зависимость предэкспоненциального множителя). 1.2.4. Статистическая теория активированного комплекса (Понятия энтальпии и энтропии активированного состояния. Рыхлость и жесткость переходных состояний. Сравнение наблюдаемых предэкспонент и энергий активации в рамках теории). 1.2.5. Кинетический изотопный эффект (Основные вклады в эффект). 1.2.6. Клеточный эффект. Учет неидеальности (Уравнение Бренстеда-Бьеррума. Поправки на изменение ионной силы и диэлектрической проницаемости в реакциях между заряженными частицами). 1.2.7. Корреляционные соотношения (Правило Поляни-Семенова. Соотношение Гаммета. Уравнение Батлера-Фольмера. Теория Маркуса). 1.2.8. Теория Линдемана (Активация и дезактивация соударениями).

1.3. Цепные процессы и катализ. 1.3.1. Автокатализ, анализ устойчивости стационарных состояний и автоколебания. 1.3.2. Цепные неразветвленные процессы (Основные стадии и их математические зависимости. Основная гибнущая частица. Понятия скорости процесса, длины цепи). 1.3.3. Цепные процессы с вырожденным разветвлением (Основные стадии и уравнения. Области протекания процессов: стационарный и автокаталитический). 1.3.4. Цепные разветвленные процессы (Основные стадии и уравнения. Понятия нижнего и верхнего пределов самовоспламенения. Мыс самовоспламенения). 1.3.5. Тепловой взрыв (Уравнение стационарного протекания процесса. Максимальный предвзрывной разогрев). 1.3.6. Катализ. Основные понятия катализа и особенности протекания процессов. Роль материального баланса. 1.3.6.1. Ферментативный катализ (Уравнение стационарной скорости реакции. Константа Михаэлиса-Ментен. Максимальная скорость реакции). 1.3.6.2. Гомогенный катализ (Катализ кислотами и основаниями. Понятие общего и специфического катализа. Функция кислотности). 1.3.6.3. Гетерогенный катализ и адсорбция (Основные стадии процесса. Роль адсорбции. Уравнение изотермы адсорбции. Понятие каталитической активности и стационарной скорости химической реакции). 1.3.6.4. Основные механизмы протекания гетерогенных реакций (Механизм Или-Ридила и Ленгмюра-Хиншельвуда. Наблюдаемые порядки и энергии активации). 1.3.6.5. Нестационарная каталитическая теория. Основные положения.

2. Общие представления о катализе

2.1. Определения катализа.

2.2. Основные этапы развития представлений о катализе. 2.2.1. Каталитические процессы в природе. 2.2.2. Роль катализа в современной промышленности — химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей, биохимической и пищевой.

2.3. Классификация катализаторов и каталитических процессов.

2.4. Основные причины каталитического действия. 2.4.1. Промежуточные соединения в катализе, катализатор, как астехиометрический реагент, каталитический цикл. 2.4.2. Новый реакционный путь, открываемый катализатором. 2.4.3. Факторы, определяющие скорость каталитической реакции. 2.4.3.1. Роль энергетического и структурного факторов при взаимодействии реагирующих веществ с катализатором. 2.4.3.2. Эффекты компенсации и дополнительного связывания.

2.5. Методы и примеры построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакции.

2.6. Стационарное состояние различных форм каталитического комплекса. 2.6.1. Стационарное кинетическое уравнение и способы его получения, квазистационарность, маршруты реакции, нестационарная кинетическая модель.

2.7. Активность и стабильность катализаторов. 2.7.1. Промоторы и каталитические яды (ингибиторы). 2.7.2. Субстратная селективность, региоселективность и энантиоселективность. 2.7.3. Влияние катализаторов на селективность параллельных, последовательных, последовательно-параллельных и других сложных реакций. 2.7.4. Зависимость селективности от конверсии в сложных реакциях при участии катализаторов на отдельных стадиях.

3. Гомогенный катализ

3.1. Классификация гомогенных катализаторов, их активность и селективность.

3.2. Нуклеофильный катализ (катализ основаниями Льюиса), механизм и кинетика его в реакциях замещения, расщепления и присоединения, факторы, определяющие эффективность нуклеофильного катализа.

3.3. Кислотный, электрофильный (катализ кислотами Льюиса) и основной катализ. 3.3.1. Механизм кислотного и электрофильного катализа нуклеофильных и электрофильных реакций замещения, отщепления и присоединения. 3.3.2. Механизм основного катализа. 3.3.3. Количественная характеристика кислотно-основного взаимодействия: жесткие и мягкие кислоты и основания, абсолютная шкала кислотности, функции кислотности. 3.3.4. Сверхкислоты как катализаторы. 3.3.5. Скорости реакции кислот с основаниями, специфический и общий кислотно-основной катализ, особенности кинетики и механизм. 3.3.6. Кислотность и каталитическая активность, уравнение Бренстеда.

3.4. Металлокомплексный катализ. 3.4.1. Каталитически-активные комплексы металлов. 3.4.2. Элементарные стадии металлокомплексного катализа: диссоциация, присоединение и замещение лигандов, перенос электрона, внедрение по связи металл-лиганд, элиминирование, диссоциативное присоединение. 3.4.3. Примеры механизмов реакций, катализируемых комплексами металлов. 3.4.3.1. Гидрирование. 3.4.3.2. Гидрокарбонилирование, карбонилирование. 3.4.3.3. Окисление и метатезис олефинов. 3.4.3.4. Изомеризация, олигомеризация и полимеризация олефинов. 3.4.3.4.1. Катализаторы Циглера—Натта. 3.4.4. Многоэлектронные процессы и катализ кластерами.

3.5. Ферментативный катализ. 3.5.1. Основные типы и функции ферментов. 3.5.2. Основные положения теории ферментативного катализа; энергетические и энтропийные параметры ферментативных процессов. 3.5.3. Биомиметика и моделирование активных центров ферментов. 3.5.4. Кинетические закономерности ферментативных реакций, уравнение Михаэлиса-Ментен, функция закомплексованности. 3.5.5. Имобилизованные гомогенные катализаторы и ферменты. 3.5.6. Ионообменные полимеры и другие способы иммобилизации.

3.6. Особенности кинетики гомогенных каталитических гетерофазных реакций газ—жидкость и жидкость—жидкость. 3.6.1. Кинетическая область гетерофазных реакций, ее признаки и экспериментальное подтверждение. 3.6.2. Катализ межфазного переноса. 3.6.2.1. Основные кинетические закономерности, методика эксперимента и обработки кинетических данных. 3.6.3. Явление ускорения массопередачи. 3.6.4. Влияние гетерофазности на селективность реакций.

4. Гетерогенный катализ

4.1. Строение поверхности твердых тел и его влияние на каталитическую активность.

4.2. Современные методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел. 4.2.1. Методы определения элементного состава катализаторов, спектральные и химические методы. 4.2.2. Термогравиметрия (термография). 4.2.3. Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ. 4.2.4. Электронная микроскопия. 4.2.5. Зондовая микроскопия: туннельная и атомно-силовая микроскопия. 4.2.6. Масс-спектрометрия вторичных ионов. 4.2.7. ЯМР-ВМУ-спектроскопия

твёрдого тела, EXAFS, XANES, фотоэлектронная и оже-спектроскопия. 4.2.8. КР-спектроскопия. 4.2.9. Электронная спектроскопия. 4.2.10. Дифракция медленных электронов.

4.3. Адсорбция как стадия гетерогенно-каталитической реакции. 4.3.1. Природа адсорбционного взаимодействия, физическая адсорбция и хемосорбция. 4.3.2. Изотермы адсорбции. 4.3.3. Теплота адсорбции и ее зависимость от степени заполнения поверхности. 4.3.4. Простейшие типы адсорбционных слоев (Лэнгмюра, Брунауэра—Эммета—Теллера, Фрейндлиха). 4.3.5. Неоднородность поверхности. 4.3.6. Адсорбционные методы измерения поверхности катализатора и концентрации каталитически-активных центров. 4.3.6.1. ИК-и УФ-спектроскопия в адсорбции и катализе. 4.3.7. Пористая структура катализаторов, способы ее формирования и методы исследования. 4.3.7.1. Ртутная порометрия. 4.3.7.2. Степень использования поверхности пор катализатора. 4.3.7.3. Оптимальная структура пор катализатора.

4.4. Типы гетерогенных катализаторов.

4.4.1. Металлы и сплавы как катализаторы. 4.4.1.1. Модели активных центров. 4.4.1.2. Корреляция между каталитической активностью металлов и степенью участия d-электронов в образовании металлических связей. 4.4.1.3. Локальные и коллективные электронные взаимодействия при хемосорбции и катализе на металлах и сплавах. 4.4.1.4. Роль π-комплексов в катализе на металлах и сплавах. 4.4.1.5. Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные каталитические реакции. 4.4.1.6. Металлические катализаторы на носителях. 4.4.1.6.1. Размерные эффекты, сильное взаимодействие металл-носитель. 4.4.1.7. Скелетные катализаторы. 4.4.1.8. Мембранные катализаторы.

4.4.2. Катализ оксидами переходных металлов. 4.4.2.1. Активные формы кислорода как окислителя, участие структурного кислорода, парциальное и полное окисление. 4.4.2.2. Электронная трактовка хемосорбции и катализа на полупроводниках. Связь каталитической активности с положением уровня Ферми.

4.4.3. Гетерогенные катализаторы кислотной природы. 4.4.3.1. Роль бренstedовских и льюисовских кислотных центров в хемосорбции и катализе на оксидах алюминия, кремния и алюмосиликатах. 4.4.3.2. Модифицированные и смешанные оксидные катализаторы. 4.4.3.3. Цеолитные катализаторы, связь их активности с типом цеолита, наличием гидроксильных групп, природой и концентрацией введенных в цеолит ионов. 4.4.3.3.1. Молекулярно-ситовые свойства цеолитных катализаторов.

4.5. Области протекания гетерогенно-каталитических реакций, их признаки и методы экспериментального подтверждения. 4.5.1. Кинетическая область протекания гетерогенных каталитических реакций, уравнение Лэнгмюра—Хиншельвуда. 4.5.2. Внешнедиффузионная и переходные с ней области катализа, кинетика реакций. 4.5.3. Внутридиффузионная и переходные с ней области гетерогенного катализа, кинетика, фактор эффективности, модуль Тиле. 4.5.4. Область протекания и селективность гетерогенных каталитических реакций.

5. Приготовление катализаторов

5.1. Основные этапы, методы и стадии приготовления твердых катализаторов. 5.1.1. Методы осаждения. 5.1.2. Механизмы формирования и старения (кристаллизации) гидроксидов при коллоидно-химическом осаждении. 5.1.3. Физико-химические аспекты золь-гель метода.

5.2. Носители и их роль для гетерогенных катализаторов. 5.2.1. Оксид алюминия в катализе. Получение различных оксидов алюминия прокаливанием гиббсита, байерита и псевдобемита. Способы регулирования текстурных и химических свойств. 5.2.2. Углеродные носители, их классификация, химико-физические свойства. Суть методов приготовления углеродных носителей, подходы к регулированию химического состояния их поверхности. Применение в катализе.

5.3. Методы нанесения активного компонента на носитель. 5.3.1. Капиллярный и диффузионный режимы пропитки. Материальный баланс адсорбционной пропитки. Однократная и многократная пропитка. 5.3.2. Механизмы закрепления предшественников активного компонента на поверхности носителей. рН изоэлектрической точки поверхности носителей, способы ее определения. Электростатическая теория адсорбции ионов из водных растворов на поверхности оксидных носителей, связь с рН изоэлектрической точки поверхности. 5.3.3. Типы распределения активного компонента по зерну носителя в нанесенных катализаторах. Факторы, определяющие дисперсное состояние и распределение по зерну носителя активного компонента. Причины возникновения неравномерного распределения активного компонента по зерну носителя.

5.4. Особенности приготовления нанесенных многокомпонентных катализаторов. Способы интенсификации процесса смешения. 5.5.1. Получение катализаторов методом механического смешения. Механохимический метод.

5.5. Термическая обработка катализаторов. Спекание пористых тел. 5.5.1. Факторы, определяющий кинетику спекания массивных катализаторов. Подходы к повышению стабильности. Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении солей и гидроксидов. 5.5.2. Факторы, определяющие глубину твердофазного взаимодействия, эффект Хэвдалла. Полиморфные превращения.

5.6. Приготовление гетерогенизированных систем. Молекулярный дизайн в катализе.

6. Физико-химические методы исследования катализаторов

6.1. Поиск каталитических систем и методы исследования кинетики и селективности каталитических реакций, стабильности катализаторов и механизма катализа. 6.1.1. Исследование кинетики гетерогенных каталитических реакций в периодических, проточных и проточно-циркуляционных реакторах, обработка экспериментальных данных.

6.2. Методы определения состава исходных веществ и продуктов реакции. 6.2.1. Хроматография. 6.2.2. Масс-спектрометрия. 6.2.3. Термогравиметрия. Температурно-программируемые методы. 6.2.4. Спектральные и дифракционные методы in-situ в исследовании каталитических реакций. 6.2.5. ЯМР и ЭПР. Изотопные методы в исследовании механизма катализа. 6.2.6. Квантово-химические методы в катализе. Зонные и кластерные модели поверхности. Квантово-химические расчеты взаимодействия простых молекул с каталитическими центрами.

7. Основные промышленные каталитические процессы

7.1. Получение водорода и способы его очистки.
7.2. Получение синтез-газа.
7.3. Способ синтез аммиака.
7.4. Процесс Фишера-Тропша. Гидрирование и дегидрирование органических соединений.
7.5. Полимеризация олефинов.
7.6. Окисление неорганических соединений. Получение серной и азотной кислот.
7.7. Каталитические процессы окисления органических веществ, окислительный аммонолиз.
7.8. Селективное каталитическое эпоксидирование органических соединений.
7.9. Нефтехимические процессы. Нефтепереработка.
7.10. Изомеризация и алкилирование.
7.11. Кислотный и основной катализ в промышленности. Гомогенный металлокомплексный катализаторов.
7.12. Катализ в очистке продуктов и переработке отходов.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Рекомендуемая литература

Основная литература

- 1) Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М.: Наука, 1986. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Boreskov G.K.\] Geterogennuei kataliz\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Boreskov G.K.] Geterogennuei kataliz(BookSee.org).djvu)
- 2) Крылов О.В. Гетерогенный катализ. М.: Академкнига, 2004. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/%D0%9A%D1%80%D1%8B%D0%BB%D0%BE%D0%B2%20%D0%93%D0%B5%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D0%B9%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7.pdf>
- 3) Хенрици-Оливэ Г., Оливэ С. Координация и катализ. М.: Мир, 1980. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Henrici-Olivye G., Olivye S.\] Koordinaciya i kataliz\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Henrici-Olivye G., Olivye S.] Koordinaciya i kataliz(BookSee.org).djvu)
- 4) Березин И.В., Мартинек К. Основы физической химии ферментативного катализа. М.: Высш. шк., 1977. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Berezin I.V., Martinek K.\] Osnovue fizicheskoj hi\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Berezin I.V., Martinek K.] Osnovue fizicheskoj hi(BookSee.org).djvu)
- 5) Белл Р. Протон в химии. М, Мир, 1977. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Bell R.\] Proton v himii\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Bell R.] Proton v himii(BookSee.org).djvu)
- 6) Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ. М.: Химия, 1985. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Panchenkov G.M., Lebedev V.P.\] Himicheskaya kinet\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Panchenkov G.M., Lebedev V.P.] Himicheskaya kinet(BookSee.org).djvu)
- 7) Эмануэль Н.М., Кнорре Д. Г. Курс химической кинетики. М.: Высш. шк., 1984. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Yemanuyel N.M., Knorre D.G.\] Kurs himicheskoi kin\(BookSee.org\).pdf](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Yemanuyel N.M., Knorre D.G.] Kurs himicheskoi kin(BookSee.org).pdf)
- 8) Накамура А., Цуцуи М. Принципы и применение гомогенного катализа. М.: Химия, 1983. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Nakamura A., Tsutsui M.\] Principii i primeneniye homogennoho kataliza\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Nakamura A., Tsutsui M.] Principii i primeneniye homogennoho kataliza(BookSee.org).djvu)

- [%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/)[Nakamura A., Cucui M.] [Principue i primenenie gom\(BookSee.org\).djvu](#)
- 9) Бендер М., Бергерон Р., Комияма М. Биоорганическая химия ферментативного катализа. М.: Мир, 1987. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>[Bender M., Bergeron R., Komiyama M.] [Bioorganiche\(BookSee.org\).djvu](#)
- 10) Киперман С.Л. Основы химической кинетики в гетерогенном катализе. М.: Химия, 1979. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>[Kiperman S.L.] [Osnovue himicheskoi kinetiki v get\(BookSee.org\).djvu](#)
- 11) Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике, М.: 1987. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>[Frank-Kamenecky D.A.] [Diffuziya i teploperedacha \(BookSee.org\).djvu](#)
- 12) Сетерфильд Ч. Практический курс гетерогенного катализа М.: Мир, 1984. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>[Setterfield CH.] [Praktichesky kurs geterogenno k\(BookSee.org\).djvu](#)
- 13) Экспериментальные методы исследования катализа / Под ред. Р. Андерсона. М.: Мир, 1972. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>[Anderson R.] [Yeksperimentalnie metode issledovan\(BookSee.org\).djvu](#)
- 14) Методы анализа поверхностей / Под ред. А. Зандерна. М.: Мир, 1979. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>[Zanderna A. (red.)] [Metodue analiza poverhnoitei\(BookSee.org\).djvu](#)

Дополнительная литература

- 15) Денисов Е.Т., Саркисов О.М., Лихтенштейн Г.И. Химическая кинетика. М.: Химия, 2000. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>denisov et sarkisov om likhtenshtein gi khimicheskai kineti.pdf
- 16) Металлоорганическая химия переходных металлов / Дж. Коллмен, Л. Хигедас, Дж. Нортон, Р. Финке. В 2 ч. М.: Мир, 1989. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/>

- [%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Kollmen Dzh., Hingedas L., Norton Dzh., Finke R.\] part%201.djvu](#) (часть первая), (часть вторая).
- 17) Мастерс К. Гомогенный катализ переходными металлами. М.: Мир, 1983. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Masters K.\] Gomogennuei kataliz perehodnuemi meta\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Masters K.] Gomogennuei kataliz perehodnuemi meta(BookSee.org).djvu)
- 18) Хартри Ф. Закрепленные металлокомплексы. М.: Мир, 1989. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Hartli F.\] Zakreplennuee metallokompleksue. Novoe\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Hartli F.] Zakreplennuee metallokompleksue. Novoe(BookSee.org).djvu)
- 19) Уго Р. Аспекты гомогенного катализа. М.: Мир, 1973. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/ugo r red aspekt y gomogennogo kataliza.djvu>
- 20) Лебедев Н.Н., Манакон М.Н., Швец В.Ф. Теория химических процессов основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Химия, 1984. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/%D0%9B%D0%B5%D0%B1%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%B2%20%D0%9C%D0%B0%D0%BD%D0%B0%D0%BA%D0%BE%D0%B2%20%D0%A8%D0%B2%D0%B5%D1%86.djvu>
- 21) Эйринг Г., Лин С.Г., Лин С.М. Основы химической кинетики. М.: Мир, 1983. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[YEiring G., Lin S. G., Lin S. M.\] Osnovue himiche\(BookSee.org\).djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[YEiring G., Lin S. G., Lin S. M.] Osnovue himiche(BookSee.org).djvu)
- 22) Farauto R.J., Bartholomew C.H. Fundamentals of Industrial Catalytic Processes. Wiley-2006. Режим доступа: <https://www.wiley.com/en-gb/Fundamentals+of+Industrial+Catalytic+Processes,+2nd+Edition-p-9780471730071>
- 23) Диксон М., Уэбб Э. Ферменты. В 3 т. М.: Мир, 1982. Режим доступа: <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/M Dixon E Uebb Fermenty Tom 1.djvu> (том 1), <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/M Dixon E Uebb Fermenty Tom 2.djvu> (том 2), <https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/M Dixon E Uebb Fermenty Tom 3.djvu>

[0%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/M_Dixon_E_Uebb_Fermenty_Tom_3.djvu](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D0%B7/M_Dixon_E_Uebb_Fermenty_Tom_3.djvu) (том 3)

24) Handbook of Heterogeneous Catalysis / Ed. by G. Ertl, H. Knozinger, J. Weitkamp. VCH Publ., 2008. Режим доступа: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527619474>

25) Катализ в С1-химии / Под ред. В. Кайма. М.: Химия, 1987. Режим доступа: [https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/\[Kaim_V.\]_kataliz_v_S1-himii\(BookSee.org\).pdf](https://www.catalysis.ru/resources/education/%D1%80%D0%B5%D0%BA%20%D0%BB%D0%B8%D1%82-%D1%80%D0%B0%20%D0%9A%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%D0%B8%20%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7/[Kaim_V.]_kataliz_v_S1-himii(BookSee.org).pdf)

8.2. Информационные ресурсы

Примеры задач письменной контрольной работы:
http://www.catalysis.ru/block/index.php?ID=5&SECTION_ID=418

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Аудиторный фонд ИК СО РАН, ноутбук, мультимедиа проектор, экран.
- Компьютерный класс ИК СО РАН, электронно-вычислительные машины, оснащенные необходимым прикладным и специализированным программным обеспечением.
- Рабочие места с выходом в интернет и внутреннюю сеть ИК СО РАН.
- Библиотечный фонд, информационно-аналитический центр ИК СО РАН.
- Учебные материалы на сайте ИК СО РАН www.catalysis.ru (Раздел Образование).

10. Методические рекомендации по организации изучения дисциплины

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме кандидатского экзамена, состоящего из двух этапов: письменной контрольной работы, являющейся допуском ко второму этапу экзамена, и устной части экзамена. Письменная контрольная работа оценивается по шкале «неудовлетворительно» (менее 50 баллов), «удовлетворительно» (50 – 65 баллов), «хорошо» (65 – 80 баллов), «отлично» (80 – 100 баллов). Получение аспирантом оценок «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» за письменную контрольную работу является допуском к прохождению устной части экзамена. Устная часть экзамена оценивается по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Итоговая оценка за кандидатский экзамен является средним арифметическим оценок, полученных при оценивании контрольной работы и устного ответа аспиранта. Получение аспирантом оценки «неудовлетворительно» по одному из этапов экзамена автоматически означает получение оценки «неудовлетворительно» за кандидатский экзамен и признается академической задолженностью.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ЗА _____/_____ УЧЕБНЫЙ ГОД

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Федеральный исследовательский центр
«Институт катализа им. Г.К. Борескова
Сибирского отделения Российской академии наук»
(Институт катализа СО РАН, ИК СО РАН)**



УТВЕРЖДАЮ
Директор, академик РАН
В.И. Бухтияров

[Handwritten signature]
«19» июня 2024г.

Фонд оценочных средств по дисциплине

Б1.ОД.4 Кинетика и катализ

Научная специальность: 1.4.14 Кинетика и катализ

Направленность: Кинетика и катализ

Новосибирск, 2024

Фонд оценочных средств является Приложением 1 к рабочей программе дисциплины «Кинетика и катализ», реализуемой в рамках программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.4.14 Кинетика и катализ, направленность Кинетика и катализ.

Составители фонда оценочных средств:

Старший научный сотрудник, к.х.н.
(должность, ученое звание, ученая степень)


(подпись)

А.И. Лыиков
(Ф.И.О.)

Старший научный сотрудник, к.х.н.
(должность, ученое звание, ученая степень)


(подпись)

Л.М. Ковтунова
(Ф.И.О.)

Научный сотрудник, к.х.н.
(должность, ученое звание, ученая степень)


(подпись)

Д.В. Марковская
(Ф.И.О.)

Рабочая программа утверждена на заседании Ученого совета ИК СО РАН
«19» июля 2024 г., протокол № 12

Ученый секретарь,
к.х.н.


(подпись)

Ю.В. Дубинин
(Ф.И.О.)

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора по научной работе,
к.х.н.


(подпись)

Д.И. Потемкин
(Ф.И.О.)

1. Промежуточная аттестация по дисциплине «Кинетика и катализ»

1.1. Общая характеристика промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине «Кинетика и катализ» нацелена на проверку уровня сформированности следующих компетенций:

Способность осуществлять поиск и разработку новых катализаторов и каталитических композиций, усовершенствованию существующих катализаторов для проведения новых химических реакций, ускорения известных реакций и повышения их селективности
Способность к разработке и усовершенствованию промышленных катализаторов, методов их производства и оптимального использования в каталитических процессах
Способность планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических, физических и физико-химических задач
Знание физико-химических основ процессов приготовления адсорбентов и катализаторов

1.2. Порядок проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме кандидатского экзамена, состоящего из двух этапов: письменной контрольной работы, являющейся допуском ко второму этапу экзамена, и устной части экзамена. Письменная контрольная работа оценивается по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Получение аспирантом оценок «удовлетворительно», «хорошо», «отлично» за письменную контрольную работу является допуском к прохождению устной части экзамена. Устная часть экзамена оценивается по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Итоговая оценка за кандидатский экзамен является средним арифметическим оценок, полученных при оценивании контрольной работы и устного ответа аспиранта. Получение аспирантом оценки «неудовлетворительно» по одному из этапов экзамена автоматически означает получение оценки «неудовлетворительно» за кандидатский экзамен и признается академической задолженностью.

1.3. Письменная контрольная работа

Письменная контрольная работа состоит из оригинальных задач, ежегодно составляемых преподавателями дисциплины. Задачи контрольной работы позволяют определить уровень сформированности следующих компетенций: «способность планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических, физических и физико-химических задач», «знание физико-химических основ процессов приготовления адсорбентов и катализаторов».

Типичные задачи контрольных работ представлены в таблице.

Компетенция	Текст задачи
Способность планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с	Каталитический процесс синтеза аммиака, протекающий согласно уравнению реакции $0.5 N_2 + 1.5 H_2 = NH_3$, осуществляют при постоянных температуре (400 °С) и давлении (330 атм). Определите мольную долю аммиака в равновесной смеси, если исходно в реактор подаётся стехиометрическая смесь азота с водородом. Изменение стандартной энергии Гиббса для данной реакции зависит от температуры (К) следующим образом: $\Delta_r G^0(T) = -37913 + 72.68 \cdot T \cdot \lg T - 16.62 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 + 1.4 \cdot 10^{-6} \cdot T^3 - 102.62 \cdot T$ (Дж/моль). K _p для данной реакции равна 0.69.

<p>использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических, физических и физико-химических задач</p>	<p>Лимитирующей стадией каталитической полимеризации этилена является рост полимерной цепи на активном центре (М-Р): $M-P + C_2H_4 \rightarrow M-(C_2H_4)-P$ Для определения числа активных центров пользуют ингибирование активного центра радиоактивной меткой (^{14}CO). Для этого в реактор вводят избыток радиоактивного ^{14}CO, который быстро реагирует с активными центрами М-Р с образованием частиц М-(^{14}CO)-Р: $M-P + ^{14}CO \rightarrow M-(^{14}CO)-P$ При этом рост цепи прекращается. В реактор загрузили 2×10^{-6} моль комплекса двухвалентного кобальта и запустили процесс полимеризации. Через 5 минут в систему ввели избыток меченного ^{14}CO. Масса полученного полимерного продукта составила 3 г. Определите долю кобальта в активном состоянии, если отношение удельной радиоактивности полимера А (распадов на 1 грамм полимера) к радиоактивности использованной метки Q (распадов на 1 моль ^{14}CO) составило $A/Q = 2 \times 10^{-7}$ (грамм полимера/моль ^{14}CO).</p>
	<p>Ферментативная реакция протекает согласно схеме Михаэлиса-Ментен:</p> $E + S \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} ES \xrightarrow{k_2} E + P, \text{ где } K_m = \frac{k_{-1} + k_2}{k_1} = 0,035 \text{ моль/л.}$ <p>При начальных концентрациях субстрата $[S]_0 = 0,115 \text{ моль/л}$ и фермента $[E]_0 = 5,50 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$ значение стационарной скорости в начальный момент времени составляет $1,15 \cdot 10^{-3} \text{ моль/(л \cdot с)}$. Найдите максимальное значение стационарной скорости процесса для приведенной начальной концентрации фермента.</p>
	<p>Последовательную реакцию $A \rightarrow B \rightarrow C$ проводят в реакторе идеального смешения при времени контакта $\tau = 1 \text{ с}$, $[A]_0 = a$. Уменьшение скорости подачи реагента А в 4 раза привело к удвоению степени превращения XА и не повлияло на стационарную концентрацию $[B]_{\text{стац}}$ в реакторе. Определите по этим данным k_1, k_2 и оптимальное время контакта $\tau_{\text{опт}}$, при котором достигается максимальная концентрация В.</p>
	<p>Автокаталитическую реакцию $A + B \rightarrow 2B$ проводят в цилиндрическом реакторе идеального вытеснения диаметром 21 мм и длиной 0.5 м. Начальные условия: $k = 2 \text{ М}^{-1} \text{ с}^{-1}$, скорость подачи смеси $U = 90 \text{ л/ч}$, $[A]_0 + [B]_0 = 0.1 \text{ М}$. При каком начальном соотношении $\gamma = ([A]_0/[B]_0)$ будет наблюдаться максимальная скорость образования В на выходе из реактора? Какова конверсия А в этих условиях?</p>
	<p>В реакторе вытеснения протекает каталитический процесс $A \rightarrow B$. Определите степень превращения вещества А в приближении реактора идеального вытеснения при условии, что давление между входом и выходом из реактора изменяется линейно из-за гидравлического сопротивления слоя катализатора. Известно, что объёмная скорость газовой смеси на выходе из реактора равна 10 мл/мин, давление на выходе из реактора составляет 1 атм, сопротивление слоя катализатора равно 3 атм, контактный объём реактора равен 0.1 см³. Реакцию $A \rightarrow B$ считайте простой с $k = 0.2 \text{ с}^{-1}$.</p>
<p>Знание физико-химических основ процессов приготовления адсорбентов и катализаторов</p>	<p>Композиционный сорбент для CO_2 представляет собой CaO, равномерно покрывающий поверхность пор матрицы слоистого материала. Поры имеют бимодальное распределение по размерам: $V_1 = 0.5 \text{ г/см}^3$, $S_1 = 150 \text{ м}^2/\text{г}$; $V_2 = 0.1 \text{ г/см}^3$, $S_2 = 80 \text{ м}^2/\text{г}$. Каково допустимо максимальное весовое содержание CaO в образце, при котором не происходит разрушения матрицы в случае полного перехода оксида в карбонат кальция? Плотность $CaCO_3 = 2.71 \text{ г/см}^3$, CaO – 3.4 г/см^3.</p>

	<p>При приготовлении катализатора методом пропитки с последующей сушкой (предшественник не сорбируется на поверхности носителя) обнаружилось, что нанесение активного компонента после однократной пропитки приводит к распределению массы активного компонента: 2/3 сосредоточено в корочке зерен носителя в виде крупных частиц, 1/3 – внутри зёрен в высокодисперсной форме в тупиковых порах. Было решено: приготовить катализатор двумя пропитками с промежуточным превращением нанесенного вещества в нерастворимую форму вдвое разбавленным раствором активного компонента. Как изменится распределение массы активного компонента по зерну носителя в этом случае и во сколько раз возрастет дисперсность второго катализатора относительно первого? Текстульные характеристики носителя и катализаторов в ходе приготовления не изменяются.</p>
	<p>Образец NiO/NiAl₂O₄ (10 вес% избыточного NiO) получают соосаждением гидроокисей металлов при pH 7 из растворов их нитратов при действии щёлочи с последующим прокаливанием осадка.</p> <p>Сколько граммов Al(NO₃)₃·9H₂O и Ni(NO₃)₂·6H₂O необходимо взять, чтобы получить 10 г образца, если объём жидкости после отделения осадка составит 200 мл.</p> <p>PAI(OH)₃ = 10⁽⁻³²⁾, атомный вес Al = 27 уе PPNi(OH)₂ = 10⁽⁻¹⁵⁾, атомный вес Ni = 58.7 уе Влиянием ионной силы раствора пренебречь.</p>
	<p>Адсорбция аргона на поверхности мезопористого Сибунита описывается моделью Лэнгмюра. Выведите уравнение изостеры адсорбции Лэнгмюра и определите зависимость изостерической теплоты адсорбции от степени заполнения поверхности.</p>
	<p>Адсорбция СО на поверхности палладия описывается уравнением:</p> $1) CO + \square_{Pd} \xrightleftharpoons[k_{-1}]{k_1} CO_{Pd}$ <p>Из-за большой теплоты адсорбции СО при низких температурах степень заполнения СО=1. Так, что даже в избытке кислорода окисление СО на палладии подавлено.</p> <p>Оцените теплоту адсорбции СО на поверхности палладия и средний радиус частиц Pd в катализаторе Pd/Al₂O₃, если известно, что: 1) теплота эмпирически зависит от радиуса частиц по уравнению: $Q(R) \approx Q_0 \frac{R}{1+R}$, где Q₀ – теплота адсорбции СО на массивном палладии (кДж/моль), R – радиус частицы (Å).</p> <p>2) Окисление начинается, если доля свободной поверхности составляет более 10⁻⁷.</p> <p>3) Окисление на палладиевой фольге и на катализаторе Pd/Al₂O₃ начинается при температурах 220 °С и 150 °С соответственно для P_{CO} = 1 торр. В оценках принять, что коэффициент прилипания СО = 1, частота свободного колебания СО на поверхности 10¹³ с⁻¹, а концентрация посадочных мест на поверхности 10¹⁵ см⁻².</p>
	<p>При приготовлении углерод-минерального композита использовали мезопористые уголь (истинная плотность 1.5 г/см³, удельная поверхность 400 м²/г, объём мезопор 1.0 см³/г) и оксид алюминия (истинная плотность 3.2 г/см³, удельная поверхность 200 м²/г, объём мезопор 0.3 см³/г). Рассчитайте истинную и насыпную плотность, удельную поверхность и объём мезопор полученного композита, содержащего равные массовые доли исходных компонентов.</p>

1.4. Устная часть экзамена

Вопросы к устной части экзамена нацелены на проверку сформированности следующих компетенций: «способность осуществлять поиск и разработку новых катализаторов и каталитических композиций, усовершенствованию существующих катализаторов для проведения новых химических реакций, ускорения известных реакций и повышения их селективности», «способность к разработке и усовершенствованию промышленных катализаторов, методов их производства и оптимального использования в каталитических процессах», «способность планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических, физических и физико-химических задач», «знание физико-химических основ процессов приготовления адсорбентов и катализаторов». На экзамене случайным образом выбираются три вопроса, проверяющих уровень сформированности различных компетенций. Примеры вопросов устного экзамена приведены в таблице.

Компетенция	Вопросы
Способность осуществлять поиск и разработку новых катализаторов и каталитических композиций, усовершенствованию существующих катализаторов для проведения новых химических реакций, ускорения известных реакций и повышения их селективности	Определения катализа.
	Основные этапы развития представлений о катализе.
	Каталитические процессы в природе. Роль катализа в современной промышленности — химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей, биохимической и пищевой.
	Классификация катализаторов и каталитических процессов.
	Основные причины каталитического действия.
	Промежуточные соединения в катализе, катализатор, как астехиометрический реагент. Каталитический цикл.
	Новый реакционный путь, открываемый катализатором.
	Факторы, определяющие скорость каталитической реакции.
	Роль энергетического и структурного факторов при взаимодействии реагирующих веществ с катализатором.
	Эффекты компенсации и дополнительного связывания.
	Методы и примеры построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакции.
	Стационарное состояние различных форм каталитического комплекса. Стационарное кинетическое уравнение и способы его получения, квазистационарность, маршруты реакции, нестационарная кинетическая модель.
	Активность и стабильность катализаторов. Промоторы и каталитические яды (ингибиторы).
	Субстратная селективность, региоселективность и энантиоселективность.
	Влияние катализаторов на селективность параллельных, последовательных, последовательно-параллельных и других сложных реакций.
	Зависимость селективности от конверсии в сложных реакциях при участии катализаторов на отдельных стадиях.
	Классификация гомогенных катализаторов, их активность и селективность.
Нуклеофильный катализ (катализ основаниями Льюиса), механизм и кинетика его в реакциях замещения, расщепления и присоединения. Факторы, определяющие эффективность нуклеофильного катализа.	
Кислотный, электрофильный (катализ кислотами Льюиса) и основной катализ. Механизм кислотного и электрофильного катализа нуклеофильных и электрофильных реакций замещения, отщепления и присоединения.	

Механизм основного катализа.
Количественная характеристика кислотно-основного взаимодействия. Жесткие и мягкие кислоты и основания. Абсолютная шкала кислотности, функции кислотности.
Сверхкислоты как катализаторы.
Скорости реакции кислот с основаниями. Специфический и общий кислотно-основной катализ. Особенности кинетики и механизм.
Кислотность и каталитическая активность, уравнение Бренстеда.
Металлокомплексный катализ. Каталитически-активные комплексы металлов.
Элементарные стадии металлокомплексного катализа: диссоциация, присоединение и замещение лигандов, перенос электрона, внедрение по связи металл-лиганд, элиминирование, диссоциативное присоединение.
Примеры механизмов реакций, катализируемых комплексами металлов: гидрирование.
Примеры механизмов реакций, катализируемых комплексами металлов: гидрокарбонилирование, карбонилирование.
Примеры механизмов реакций, катализируемых комплексами металлов: окисление и метатезис олефинов.
Примеры механизмов реакций, катализируемых комплексами металлов: изомеризация, олигомеризация и полимеризация олефинов. Катализаторы Циглера—Натта.
Многэлектронные процессы и катализ кластерами. Асимметрический каталитический синтез.
Ферментативный катализ. Основные типы и функции ферментов.
Основные положения теории ферментативного катализа; энергетические и энтропийные параметры ферментативных процессов.
Биомиметика и моделирование активных центров ферментов.
Строение поверхности твердых тел и его влияние на каталитическую активность.
Пористая структура катализаторов, способы ее формирования и методы исследования. Ртутная порометрия. Степень использования поверхности пор катализатора. Оптимальная структура пор катализатора.
Типы гетерогенных катализаторов.
Металлы и сплавы как катализаторы. Модели активных центров. Корреляция между каталитической активностью металлов и степенью участия d-электронов в образовании металлических связей. Локальные и коллективные электронные взаимодействия при хемосорбции и катализе на металлах и сплавах. Роль π-комплексов в катализе на металлах и сплавах.
Структурно-чувствительные и структурно-нечувствительные каталитические реакции.
Металлические катализаторы на носителях. Размерные эффекты, сильное взаимодействие металл-носитель.
Скелетные катализаторы.
Мембранные катализаторы.
Катализ оксидами переходных металлов. Активные формы кислорода как окислителя, участие структурного кислорода, парциальное и полное окисление.
Электронная трактовка хемосорбции и катализа на полупроводниках. Связь каталитической активности с положением уровня Ферми.
Гетерогенные катализаторы кислотной природы. Роль бренстедовских и

		<p>люисовских кислотных центров в хемосорбции и катализе на оксидах алюминия, кремния и алюмосиликатах. Модифицированные и смешанные оксидные катализаторы.</p> <p>Цеолитные катализаторы, связь их активности с типом цеолита, наличием гидроксильных групп, природой и концентрацией введенных в цеолит ионов. Молекулярно-ситовые свойства цеолитных катализаторов.</p> <p>Области протекания гетерогенно-каталитических реакций, их признаки и методы экспериментального подтверждения.</p> <p>Кинетическая область протекания гетерогенных каталитических реакций. Уравнение Лэнгмюра—Хиншельвуда.</p> <p>Внешнедиффузионная и переходные с ней области катализа, кинетика реакций. Устойчивость внешнедиффузионной и переходной областей экзотермической гетерогенно-каталитической реакции.</p> <p>Внутридиффузионная и переходные с ней области гетерогенного катализа, кинетика, фактор эффективности, модуль Тиле.</p> <p>Область протекания и селективность гетерогенных каталитических реакций.</p> <p>Поиск каталитических систем и методы исследования кинетики и селективности каталитических реакций, стабильности катализаторов и механизма катализа.</p> <p>Исследование кинетики гетерогенных каталитических реакций в периодических, проточных и проточно-циркуляционных реакторах, обработка экспериментальных данных.</p>
Способность к разработке и усовершенствованию промышленных катализаторов, методов их производства оптимального использования каталитических процессах	к и их и в	<p>Иммобилизованные гомогенные катализаторы и ферменты. Ионообменные полимеры и другие способы иммобилизации.</p>
		<p>Получение водорода и способы его очистки.</p>
		<p>Получение синтез-газа.</p>
		<p>Способ синтеза аммиака.</p>
		<p>Процесс Фишера-Тропша. Гидрирование и дегидрирование органических соединений.</p>
		<p>Полимеризация олефинов.</p>
		<p>Окисление неорганических соединений. Получение серной и азотной кислот.</p>
		<p>Каталитические процессы окисления органических веществ, окислительный аммонолиз.</p>
		<p>Селективное каталитическое эпоксидование органических соединений.</p>
		<p>Нефтехимические процессы. Нефтепереработка.</p>
		<p>Изомеризация и алкилирование.</p>
Способность планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты использованием теоретических знаний	и с и	<p>Кислотный и основной катализ в промышленности. Гомогенный металлокомплексный катализ.</p>
		<p>Катализ в очистке продуктов и переработке отходов.</p>

практических навыков решения математических, физических и физико-химических задач	
	Особенности кинетики гомогенных каталитических гетерофазных реакций газ—жидкость и жидкость—жидкость.
	Кинетическая область гетерофазных реакций, ее признаки и экспериментальное подтверждение.
	Катализ межфазного переноса.
	Основные кинетические закономерности, методика эксперимента и обработки кинетических данных. Явление ускорения массопередачи.
	Влияние гетерофазности на селективность реакций.
	Современные методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел. Методы определения элементного состава катализаторов, спектральные и химические методы.
	Термогравиметрия (термография). Температурно-программируемые методы.
	Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ.
	Спектральные и дифракционные методы in-situ в исследовании каталитических реакций.
	Электронная микроскопия.
	Зондовая микроскопия: туннельная и атомно-силовая микроскопия.
	Масс-спектрометрия вторичных ионов.
	ЯМР и ЭПР. Изотопные методы в исследовании механизма катализа.
	ЯМР-ВМУ-спектроскопия твердого тела, EXAFS, XANES, фотоэлектронная и оже-спектроскопия.
	КР-спектроскопия.
	Электронная спектроскопия.
	Дифракция медленных электронов.
Хроматография.	
Квантово-химические методы в катализе. Зонные и кластерные модели поверхности. Квантово-химические расчеты взаимодействия простых молекул с каталитическими центрами.	
Адсорбция как стадия гетерогенно-каталитической реакции.	
Природа адсорбционного взаимодействия. Физическая адсорбция и хемосорбция.	
Изотермы адсорбции.	
Теплота адсорбции и ее зависимость от степени заполнения поверхности.	
Простейшие типы адсорбционных слоев (Лэнгмюра, Брунауэра—Эммета—Теллера, Фрейндлиха).	
Неоднородность поверхности.	
Адсорбционные методы измерения поверхности катализатора и концентрации каталитически-активных центров.	
ИК-и УФ-спектроскопия в адсорбции и катализе.	
Знание физико-химических основ процессов приготовления адсорбентов и	Основные этапы, методы и стадии приготовления твердых катализаторов.
	Методы осаждения.
	Механизмы формирования и старения (кристаллизации) гидроксидов при коллоидно-химическом осаждении.
	Физико-химические аспекты золь-гель метода.

катализаторов	Носители и их роль для гетерогенных катализаторов.
	Оксид алюминия в катализе. Получение различных оксидов алюминия прокаливанием гиббсита, байерита и псевдобемита. Способы регулирования текстурных и химических свойств.
	Углеродные носители, их классификация, химико-физические свойства. Суть методов приготовления углеродных носителей, подходы к регулированию химического состояния их поверхности. Применение в катализе.
	Методы нанесения активного компонента на носитель.
	Капиллярный и диффузионный режимы пропитки. Материальный баланс адсорбционной пропитки. Однократная и многократная пропитка.
	Механизмы закрепления предшественников активного компонента на поверхности носителей. рН изоэлектрической точки поверхности носителей, способы ее определения. Электростатическая теория адсорбции ионов из водных растворов на поверхности оксидных носителей, связь с рН изоэлектрической точки поверхности.
	Типы распределения активного компонента по зерну носителя в нанесенных катализаторах. Факторы, определяющие дисперсное состояние и распределение по зерну носителя активного компонента. Причины возникновения неравномерного распределения активного компонента по зерну носителя.
	Особенности приготовления нанесенных многокомпонентных катализаторов. Способы интенсификации процесса смешения.
	Получение катализаторов методом механического смешения. Механохимический метод.
	Термическая обработка катализаторов. Спекание пористых тел.
	Факторы, определяющий кинетику спекания массивных катализаторов. Подходы к повышению стабильности. Закономерности формирования фазового состава и текстуры при термическом разложении солей и гидроксидов.
	Факторы, определяющие глубину твердофазного взаимодействия, эффект Хэвдалла. Полиморфные превращения.
	Приготовление гетерогенизированных систем. Молекулярный дизайн в катализе.

3. Критерии оценки сформированности компетенций в рамках промежуточной аттестации по дисциплине

Компетенции	Оценочное средство	Не сформирован	Пороговый уровень	Базовый уровень	Продвинутый уровень
Способность осуществлять поиск и разработку новых катализаторов и каталитических композиций, усовершенствованию существующих катализаторов для проведения новых химических реакций, ускорения известных реакций и повышения их селективности	Вопрос устного экзамена	Имеет представление о некоторых принципах действия катализаторов, допускает грубые ошибки при описании важнейших каталитических процессов в современной химической промышленности, энергетике и защите окружающей среды	Демонстрирует общие знания принципов действия катализаторов и основ механизмов каталитических превращений, допускает негрубые ошибки при описании важнейших каталитических процессов в современной химической промышленности, энергетике и защите окружающей среды	Демонстрирует знания принципов действия катализаторов и основ механизмов каталитических превращений, допускает несущественные неточности при описании важнейших каталитических процессов в современной химической промышленности, энергетике и защите окружающей среды	Демонстрирует глубокие знания принципов действия катализаторов и основ механизмов каталитических превращений, важнейших каталитических процессов в современной химической промышленности, энергетике и защите окружающей среды
Способность к разработке и усовершенствованию промышленных катализаторов, методов их производства и оптимального использования в каталитических процессах	Вопрос устного экзамена	Имеет представление об основных типах промышленных катализаторов, допускает грубые ошибки при описании методов приготовления катализаторов, особенностей строения и функционирования в промышленных условиях	Демонстрирует общие знания основных типов промышленных катализаторов, допускает негрубые ошибки при описании методов их приготовления, особенностей строения и функционирования в промышленных условиях	Демонстрирует знания основных типов промышленных катализаторов, методов их приготовления, допускает несущественные неточности при описании особенностей строения и функционирования в промышленных условиях	Демонстрирует глубокие знания основных типов промышленных катализаторов, методов их приготовления, особенностей строения и функционирования в промышленных условиях
Способность планировать работы химической	Задача контрольной работы,	Допускает грубые ошибки при применении теоретических знаний и	Допускает негрубые ошибки при применении теоретических знаний,	Допускает незначительные ошибки при применении	Грамотно применяет теоретические знания, не допускает

направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических, физических и физико-химических задач	вопрос устного этапа экзамена	решении математических, физических и физико-химических задач	допускает более три и более вычислительных ошибок при решении математических, физических и физико-химических задач	теоретических знаний, одну или две вычислительных ошибок при решении математических, физических и физико-химических задач	вычислительных ошибок при решении математических, физических и физико-химических задач
Знание физико-химических основ процессов приготовления адсорбентов и катализаторов	Задача контрольной работы, вопрос устного этапа экзамена	Допускает грубые ошибки при описании особенностей отдельных этапов приготовления адсорбентов и катализаторов и закономерностей формирования их текстуры	Демонстрирует негрубые ошибки при применении теорий для описания особенностей отдельных этапов приготовления адсорбентов и катализаторов и закономерностей формирования их текстуры	Не допускает ошибок при применении теорий для описания особенностей отдельных этапов приготовления катализаторов и адсорбентов и закономерностей формирования их текстуры	Грамотно осуществляет описание особенностей отдельных этапов приготовления катализаторов и адсорбентов и закономерностей формирования их текстуры

Для успешного прохождения промежуточной аттестации все компетенции должны быть сформированы на уровне не ниже порогового.

4. Критерии оценивания промежуточной аттестации аспиранта

Итоговая оценка за кандидатский экзамен является средним арифметическим оценок, полученных при оценивании степени освоения проверяемых компетенций на этапах письменной контрольной работы и устного экзамена. Получение аспирантом оценки «неудовлетворительно» по одному из этапов экзамена автоматически означает получение оценки «неудовлетворительно» за кандидатский экзамен и признается академической задолженностью.

Критерии оценивания контрольной работы:

- «неудовлетворительно» - допускает грубые ошибки в терминологии, ключевых формулах и математических вычислениях, набирает менее 50 баллов за работу;
- «удовлетворительно» - демонстрирует слабое владение знаниями физико-химических основами катализа, адсорбционных явлений и приготовления катализаторов, допускает ошибки при написании ключевых формул и вычислении целевых значений, набирает от 50 до 65 баллов за работу;
- «хорошо» - демонстрирует владение знаниями физико-химических основами катализа, адсорбционных явлений и приготовления катализаторов не в полной степени, верно записывает ключевые формулы, допускает несущественные ошибки при вычислении целевых значений, набирает от 65 до 80 баллов за работу;
- «отлично» - демонстрирует уверенное владение знаниями физико-химических основами катализа, адсорбционных явлений и приготовления катализаторов, верно записывает ключевые формулы, не допускает ошибок при вычислении целевых значений; набирает от 80 до 100 баллов за работу.

Критерии оценивания ответа аспиранта на экзамене:

- «неудовлетворительно» - нет ответов более, чем на половину заданных вопросов, допущены грубые ошибки при описании принципов протекания каталитических реакций и механизмов процессов;
- «удовлетворительно» - ответы в целом правильные, продемонстрировано общее понимание принципов протекания каталитических реакций, знание основных механизмов реакций и методов приготовления катализаторов, имеются ошибки и неточности в формулировках;
- «хорошо» - ответы правильные, грамотные, продемонстрировано понимание принципов протекания каталитических реакций, знание основных механизмов реакций и классических методов приготовления катализаторов, имеются ошибки и неточности в формулировках;
- «отлично» - ответы полные, исчерпывающие, продемонстрировано понимание принципов протекания каталитических реакций, знание механизмов реакций и классических и неклассических методов приготовления катализаторов.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ В ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «КИНЕТИКА И КАТАЛИЗ» ЗА _____/_____ УЧЕБНЫЙ ГОД