



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФГБОУ ВО «ИГУ»
Кафедра физической и коллоидной химии



УТВЕРЖДАЮ
Декан химического факультета, доц.

А.И. Вильмс

«9» июня 2023 г.

Рабочая программа дисциплины Б1.В.01

Наименование дисциплины **КАТАЛИЗ**

Направление подготовки **04.04.01 - Химия**

Направленность подготовки: **Химия и химическое производство**

Квалификация выпускника – **МАГИСТР**

Форма обучения **очно-заочная**

Согласовано с УМК_химического
факультета

Протокол № 5 от «9» июня 2023 г.

Председатель

А.И. Вильмс

Рекомендовано кафедрой физической и
коллоидной химии:

Протокол № 6 от «8» июня 2023 г.

И.о. зав. кафедрой

Бельх Л.Б.

Иркутск 2023 г.

Содержание

	стр.
1. Цели и задачи дисциплины	3
2. Место дисциплины в структуре ОПОП.	3
3. Требования к результатам освоения дисциплины	4
4. Содержание и структура дисциплины	5
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам	5
4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	6
4.3 Содержание учебного материала	9
5. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ, план самостоятельной работы студентов, методические указания по организации самостоятельной работы студентов	10
6. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)	12
7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины:	12
а) основная литература;	12
б) дополнительная литература;	12
в) программное обеспечение;	13
г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)	14
9. Образовательные технологии	15
10. Оценочные средства (ОС)	15

I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

Цель: овладение магистрантами химического факультета теоретическими основами и современным состоянием учения о катализе, его возможностями практического применения.

Задачи:

- сформировать у магистрантов химического факультета комплекс фундаментальных представлений, составляющих основу катализа; дать представление об основных промышленных каталитических процессах и наиболее актуальных направлениях исследований в области катализа;
- закрепить необходимый понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа;
- сформировать умение и навыки проводить экспериментальные исследования в области катализа.

II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ АОПОП ВО

2.1. Учебная дисциплина «Катализ» дисциплина вариативной части профессионального цикла (Б1.В.01).

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами (на предыдущем уровне образования в бакалавриате), а именно:

«Физическая химия. Химическая термодинамика» (Б1.О.24),

«Физическая химия. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ» (Б1.О.25),

«Органическая химия» (Б1.О.20),

«Общая химия. Химия неметаллов» (Б1.О.16),

«Металлическая связь. Химия металлов» (Б1.О.17),

«Коллоидная химия» (Б1.В.ОД.7),

«Математика» (Б1.О.10),.

2.3 Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

«Теоретические основы органической химии» (Б1.В.05),

«Математические методы в химии» (Б1.В.ДВ.04.01),

«Кинетика и механизмы органических реакций» (Б1.В.ДВ.04.02),

«Нанохимия» (Б1.О.07),

выполнения выпускных квалификационных работ и формирования профессиональных компетенций

III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций (элементов следующих компетенций) в соответствии с ФГОС ВО и АОП ВО по данному направлению подготовки 04.04.01 «Химия», профиль: Химия и химическое производство.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
<p>ПК-4 Способен проводить экспериментальные и расчетно-теоретические исследования по заданной теме в выбранной области химии, химической технологии или смежных с химией науках</p>	<p><i>ИДК ПК-4,1</i> Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии</p>	<p>Знать: понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного катализа</p>
		<p>Уметь: проводить экспериментальные исследования в области катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов.</p>
		<p>Владеть: навыками к интерпретации результатов каталитического эксперимента</p>

IV. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 часов,
в том числе 1.75 зачетная единица, 63 часа на экзамен.

Из них 54 часа – практическая подготовка

Форма промежуточной аттестации: *экзамен*

4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов

№ п/п	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)				Самостоятельная работа, в том числе, внеаудиторная самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
					Контактная работа преподавателя с обучающимися					
					Лекции	Лабораторные занятия	Семинарские/практические занятия	КСР+КО		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Введение. Основные понятия катализа	1	9	2	2	-	2	1	4	Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума
2	Гомогенный кислотно-основной катализ	1	37	21	5	17	4	4	7	Проверка отчетов по ЛР,

										практические задания, Собеседование в форме коллоквиуму
3	Металлокомплексный катализ	1	34	18	5	12	6	4	7	Проверка отчетов по ЛР, практические задания, Собеседование в форме коллоквиума
4	Гетерогенный катализ	1	29	13	5	7	6	4	7	Проверка отчетов по ЛР, практические задания, собеседование в форме коллоквиума
6	Основные промышленные каталитические процессы	1	8	-	1	-	-	1	6	Собеседование в форме коллоквиума
	Итого часов	1	117	54	18	36	18	14	31	Экзамен (63 ч)

Примечание: ЛР – лабораторная работа

4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1	Введение. Основные понятия и терминология катализа.	Подготовка к практическим занятиям на тему «Основной постулат химической кинетики и его применение для описания гомогенных каталитических процессов».		2	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1	Введение. Основные понятия катализа.	Подготовка к коллоквиуму № 1		2	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1, 3, 4 в списке основной литературы
1	Гомогенный кислотно-основной катализ	Подготовка отчета по ЛР «Влияние концентрации и природы кислоты на скорость реакции йодирования ацетона».		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1		Подготовка отчета по ЛР «Гидролиз сложных эфиров, катализируемый кислотами»		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
		Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм гомогенного кислотно-основного катализа».		1	Практические задания	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1		Подготовка к коллоквиуму № 2		2	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1, 4 в списке основной литературы
1		Металлокомплексный катализ	Подготовка отчета по ЛР «Гомогенно-каталитический распад пероксида водорода в присутствии ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ »		2	Проверка отчета по ЛБ. УО

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
1	Гетерогенный катализ	Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм металлокомплексного катализа»		2	Практические задания по теме	№ 1, 2 в списке дополнительной литературы
1		Подготовка к коллоквиуму № 3		3	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1 в списке основной литературы
1		Подготовка отчета по ЛР «Определение текстурных характеристик носителя методом капиллярной конденсации»		2	Проверка отчета по ЛБ. УО	Методические указания «Катализ»
1			Подготовка к практическим занятиям на тему «Кинетика и механизм гетерогенного катализа.»		2	Практические задания
		Подготовка к коллоквиуму № 4		3	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1,3, 4 в списке основной литературы
	Основные промышленные каталитические процессы	Подготовка к коллоквиуму № 4		6	Собеседование в форме коллоквиума	№ 1, 4 в списке основной литературы
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час) +КО				31		
Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)				31		

4.3 Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Введение. Основные понятия и терминология

Основные этапы развития учения о катализе. Роль катализа в химической и нефтехимической промышленности. Примеры важнейших промышленных каталитических процессов.

Основные понятия и определения. Причины каталитического действия. Активность, стабильность, производительность катализатора; частота оборотов (TOF) и число оборотов (TON) каталитических процессов. Явление промотирования, отравления и модифицирования в катализе. Субстратная селективность, регоселективность и стереоселективность. Классификация катализаторов и каталитических процессов: по агрегатному состоянию; по механизму катализа, по функциональности.

2. Гомогенный катализ

Общие аспекты гомогенного катализа. Теория Абея – Шпитальского. Каталитический цикл. Методы построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакций. Квазиравновесное и квазистационарное приближения. Уравнение Михаэлиса-Ментен для односубстратной реакции.

Гомогенный кислотно-основной. Классификация кислотно-основного катализа. Протолитический и прототропный механизмы кислотно-основного катализа. Специфический кислотно-основной катализ. Общий кислотно-основной катализ. Кислотность и основность реакционной среды. Функция кислотности. Суперкислотные и суперосновные катализаторы. Механизм кислотного и электрофильного катализа, нуклеофильных и электрофильных реакций замещения, отщепления и присоединения.

3. Металлокомплексный катализ

Основные понятия химии координационных соединений, правило 18 электронов, донорно-акцепторное и донорно-дативное взаимодействие. Основные стадии в металлокомплексном катализе: обратимое комплексообразование, внедрение по связи металл-лиганд, β и (α)-элиминирование, окислительное присоединение, восстановительное элиминирование.

Механизм формирования и природа активных в катализе комплексов на примере реакций гомогенного гидрирования, изомеризации, ди-, олиго-, полимеризации алкенов. Формирование, дезактивация и регенерация активных в катализе комплексов никеля на примере катализаторов циглеровского типа ди- и олигомеризации алкенов. Процессы саморегулирования в металлокомплексном катализе.

4. Гетерогенный катализ

Гетерогенный катализ: основные понятия гетерогенного катализа. Современные представления о природе активных центров гетерогенных катализаторов. Методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел.

Корреляционные зависимости в катализе. Предвидение каталитического действия. Соотношения Бренстеда - Поляни и их использование в катализе. Корреляция между активностью металлов и степенью участия d-электронов в образовании металлических связей.

Основные стадии гетерогенно-каталитических процессов. Кинетика гетерогенных каталитических процессов: закон действующих поверхностей, кинетическая и диффузионная области катализа. Ленгмюровская кинетика моно- и бимолекулярных каталитических реакций. Вид кинетических уравнений в зависимости от природы лимитирующей стадии.

Типы гетерогенных катализаторов: металлы, сплавы, смешанные катализаторы, металлы на носителях, и методы их получения. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и пористой структуре катализаторов. Применение капиллярной конденсации и ртутной порометрии для анализа пористой структуры твердых тел. Влияние размера нанокластеров металлов на их каталитические свойства. Размерные эффекты.

5. Основные промышленные каталитические процессы

Основные промышленные каталитические процессы: получение водорода и синтез-газа; синтез аммиака и метанола, синтез Фишера – Тропше; гидрирование и дегидрирование органических соединений. Каталитические процессы в нефтепереработке: крекинг, гидрокрекинг, риформинг.

4.3.1 Перечень практических занятий и лабораторных работ

№ п/н	№ Раздела и темы	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции (индикаторы) *
			Всего часов	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4		5	6
1	1. Введение. Основные понятия и терминология	ПР «Основной постулат химической кинетики и его применение для описания гомогенных каталитических процессов».	2	2	Практические задания по теме	ПК-4
2		Коллоквиум №1 «Основные понятия катализа. Причины каталитического действия»	1	1	Собеседование в форме коллоквиума	ПК-4
3	2. Гомогенный кислотно-основной катализ	ЛР «Влияние концентрации и природы кислоты на скорость реакции йодирования ацетона»	12	12	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
4		ЛР «Гидролиз сложных эфиров, катализируемый кислотами»	4	4	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4

5		ПР «Кинетика и механизм гомогенного кислотного катализа»	4	4	Практические задания по теме	ПК-4
6		Коллоквиум № 2	3	3	Собеседование в форме коллоквиума	ПК-4
7	3. Металлокомплексный катализ	ЛР «Гомогенно-каталитический распад пероксида водорода в присутствии ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ »	6	6	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
8		ПР «Кинетика и механизм металлокомплексного катализа. Уравнение Михаэлиса-Ментон. Конкурентное и неконкурентное ингибирование»	6	6	Практические задания по теме	ПК-4
9		Коллоквиум № 3	3	3	Собеседование в форме коллоквиума	ПК-4
11	3. Гетерогенный катализ	ЛР «Определение текстурных характеристик носителя методом капиллярной конденсации»	4	4	Проверка отчета по ЛБ	ПК-4
13		ПР «Кинетика и механизм гетерогенного катализа. Размерные эффекты»	4	4	Практические задания по теме	ПК-4
14		Коллоквиум № 4	3	3	Собеседование в форме коллоквиума	ПК-4
15	5. Основные процессы				Собеседование в форме коллоквиума	ПК-4

*Примечание: ПР – практическое занятие, ЛР – лабораторная работа

1.3.1. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов

№ п/п	Тема*	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	2	3	4	5
1	Введение. Основные понятия катализа	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля), выполнение практических заданий	ПК-4	<i>ИДК ПК-4,1</i>
2	Гомогенный кислотно-основной катализ	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Написание отчетов по ЛР, выполнение практических заданий	ПК-4	<i>ИДК ПК-4,1</i>
3	Металлокомплексный катализ	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Написание отчетов по ЛР, выполнение практических заданий	ПК-4	<i>ИДК ПК-4,1</i>
4	Гетерогенный катализ	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Написание отчетов по ЛР, выполнение практических заданий	ПК-4	<i>ИДК ПК-4,1</i>
5	Основные промышленные каталитические процессы	Рассмотреть катализаторы и каталитические процессы крекинга, риформинга, синтеза аммиака.	ПК-4	<i>ИДК ПК-4,1</i>

4.4 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов, связанная с подготовкой отчетов по выполненным лабораторным работам, закреплением теоретического материала в виде решения задач и подготовки к коллоквиумам, проводится во внеаудиторное время.

Структура отчета по лабораторной работе:

1. Цель работы.
2. Теоретическая часть.
3. Выполнение расчетных, графических и контрольных заданий в соответствии с методическими указаниями к каждой работе.
4. Вывод (на основе полученных результатов).

Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ и обработке полученных экспериментальных данных по каждой лабораторной работе описаны в методических рекомендациях, подготовленных преподавателями кафедры.

1. Катализ / А.Ф. Шмидт, Ф.К. Шмидт, Л.Б. Белых, Н.И. Скрипов, Д.С. Суслов // (методические указания). Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2009. – 60 с.

Примеры решения типовых задач представлены в рекомендуемых учебных пособиях и задачниках по физической химии и катализу.

1. Байрамов, В.М. Химическая кинетика и катализ [Текст] : примеры и задачи с решениями: Учеб. пособие для студ. хим. фак. ун-тов, обуч. по спец. 011000 "Химия" и напр. 510500 "Химия" / В.М. Байрамов. - М. : Академия, 2003. - 319 с. ; 22 см. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 318. - ISBN 5-7695-1293-8 : 21 экз..

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии) нет

V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

а) основная литература

1. Шмидт, Ф.К. Основы катализа: координационно-химические, физико-химические и кинетические аспекты [Текст] : учеб. пособие / Ф. К. Шмидт, Л. Б. Белых ; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. - 437 с. ; 20 см. - Библиогр.: с. 434-437 19 экз.
2. Шмидт, Ф.К. Основы катализа: координационно-химические, физико-химические и кинетические аспекты [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Ф. К. Шмидт. - ЭВК. - Иркутск : ИГУ, 2011. - Режим доступа: . - Режим доступа: ЭЧЗ "Библиотех". - Неогранич. доступ.
3. Крылов, О.В. Гетерогенный катализ [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по специализации 011013 "Хим. кинетика и катализ" спец. 011000 "Химия" / О. В. Крылов. - М. : Академкнига, 2004. - 680 с. : ил. ; 24 см. - (Классический университетский учебник XXI века). - Предм. указ.: с. 669-676. - ISBN 5-94628-141-0 : 14 экз.
4. Эльшенбройх, Кристоф. Металлоорганическая химия [Электронный ресурс] / К. Эльшенбройх. - Электрон. текстовые дан. - Москва : Лаборатория знаний"" (ранее ""БИНОМ. Лаборатория знаний", 2017 ; Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2014. - 746 с. : ил. ; 25 см ; 746 с. : ил. - (Химия) (Химия). - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - Библиогр.: с. 681-703. - Библиогр.: с. 681-703, библиогр. в предисл. - Предм. указ.: с. 720-740. - Авт. указ.: с. 704-719. - ISBN 978-5-00101-504-8 : Доп. тит. л. на нем. яз. Пер. изд.: Organometallchemie / C. Elschenbroich. 2008.
5. Байрамов, В.М. Основы химической кинетики и катализа [Текст] : учеб. пособие для студ. хим. фак. ун-тов / В.М. Байрамов. - М. : Академия, 2003. - 252 с. ; 22 см. - Библиогр.: с. 242-243 . -Предм. указ.: с. 244-250 . - ISBN 5-7695-1297-0 : 20 экз.

б) дополнительная литература

6. Байрамов, В.М. Химическая кинетика и катализ [Текст] : примеры и задачи с решениями: Учеб. пособие для студ. хим. фак. ун-тов, обуч. по спец. 011000 "Химия" и напр. 510500 "Химия" / В.М. Байрамов. - М. : Академия, 2003. - 319 с. ; 22 см. - (Высшее образование). - Библиогр.: с. 318. - ISBN 5-7695-1293-8 : 21 экз.+

7. Сибаров, Д. А. Катализ, каталитические процессы и реакторы [Электронный ресурс] / Д. А. Сибаров, Д. А. Смирнова. - 2-е изд., стер. - Электрон. текстовые дан. - [Б. м.] : Лань, 2018. - 200 с. - ЭБС "Лань". - неогранич. доступ. - ISBN 978-5-8114-2158-9 :
8. Практикум по физической химии. Кинетика и катализ. Электрохимия [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. "Химия" и спец. "Фундаментальная и прикладная химия" / ред.: В. В. Лунин, Е. П. Агеев. - М. : Академия, 2012. - 300 с. : ил. ; 22 см. - (Высшее профессиональное образование: Естественные науки). - ISBN 978-5-7695-6810-7 : 6 экз.+
9. Титова, Ю.Ю. Комплексы никеля в органическом синтезе и катализе [Текст] : учеб. пособие / Ю. Ю. Титова, Ф. К. Шмидт ; рец.: А. В. Рохин, В. В. Смирнов ; Иркут. гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2015. - 241 с. ; 20 см. - Библиогр.: с. 237-241. - ISBN 978-5-9624-1297-9 : 11 экз.+



в) периодические издания (при необходимости)

г) список авторских методических разработок:

в ЭИОС ИГУ размещены презентации лекций и методические указания к самостоятельной и лабораторным работам: <https://educa.isu.ru/course/view.php?id=46430>

1. Катализ / А.Ф. Шмидт, Ф.К. Шмидт, Л.Б. Белых, Н.И. Скрипов, Д.С. Суслов // (методические указания). Иркутск: Иркут. гос. ун-т, 2009. – 60 с.

д) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. <http://www.msu.ru/libraries/>

Данный интернет источник – сайт научной библиотеки Московского государственного университета.

2. <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/phys.html>

Данный интернет источник – сайт Московского государственного университета (страница кафедры физической химии), на котором представлены

а) Кубасов А.А.

[Химическая кинетика и катализ \(часть 1 и часть 2\)](#) (лекции)

б) Семиохин И.А.

[Сборник задач по химической кинетике](#)

в) Семиохин И.А., Страхов Б.В., Осипов А.И.

[Кинетика химических реакций](#)

г) Еремин В.В., Каргов С.И., Кузьменко Н.Е.

[Задачи по физической химии. Часть II. Химическая кинетика. Электрохимия](#)

- 3) <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/oil/welcome.html>

VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Помещения для проведения лекционных и семинарских занятий, укомплектованные необходимым оборудованием, приборной базой, а именно:

- аудитории, оснащенные мультимедийными средствами, для проведения аудиторных и семинарских занятий (ауд. 402, 426, 303);

- компьютерный класс кафедры физической и коллоидной химии. Общее количество единиц вычислительной техники – 5:

- Pentium IV – 1 шт. (ауд. 303)
- Pentium III – 1 шт.
- Pentium I – 3 шт.

Имеется локальная сеть.

6.1. Учебно-лабораторное оборудование:

№ п/п	Наименование	Количество
1	2	3
1	Вытяжной шкаф	1
2	Лабораторные столы	8
3	Потенциометр КВП-503	1
4	Термостат ИТИ-4, термостат (Германия)	3
5	Водяные бани	3
6	Фотоколориметр КФК-2-УХЛ	1
7	Калориметр	1
8	Мешалки электрические с верхним приводом	1
9	Мешалки магнитные	3
10	Установка для каталитической дегидратации этанола	1
11	Волюмометрическая установка	2
12	Учебные столы	1
13	Химическая посуда, штативы, реактивы	комплект

6.2. Программное обеспечение:

6.3. Технические и электронные средства:

VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе изучения дисциплины «Катализ» читаются лекции, проводятся практические и лабораторные работы, коллоквиумы, разбор конкретных ситуаций с использованием пассивных, активных и интерактивных форм обучения.

Активные формы обучения. На лабораторных занятиях, которые составляют более половины от контактной работы, каждый студент выполняет лабораторную работу индивидуально. Такой вид организации обучения способствует приобретению навыков самостоятельного ведения экспериментальных работ, практических навыков обращения и работы с различными химическими веществами и лабораторным оборудованием, измерительной аппаратурой, организации методики экспериментальных работ, составления протоколов отчетов химических экспериментов, а также практического

подтверждения теоретических положений катализа. Подготовка отчетов по каждой лабораторной работе формирует умение проводить первичный анализ результатов с учетом общих закономерностей, формулируемых в рамках катализа, представлять результаты опытов и расчетных работ, грамотно формулировать выводы.

Закрепление теоретических положений катализа (основных законов и закономерностей) проводится в виде интерактивного обучения – коллоквиумов, и выполнения расчетных задач на практических занятиях.

Примеры решения типовых задач представлены в рекомендуемых учебных пособиях и задачниках по физической химии:

- 1) Кудряшов И.В., Каретников Г.С. [Текст] Сборник примеров и задач по физической химии : Учеб. пособие для хим.-технол. Спец. Вузов . – 6-ое изд., перераб. И доп. – М. : Высш. шк., 1991. – 527 с.
- 2) Сборник задач по общей и физической химии [Текст] : учеб. пособие / В. В. Еремин, А. Я. Борщевский. - Долгопрудный : Интеллект, 2019. - 415 с. : ил., табл. ; 21 см. - Библиогр.: с. 415. - ISBN 978-5-91559-261-1

Наименование тем занятий с использованием интерактивных форм обучения:

№	Тема занятия	Вид занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	Кол-во часов
1	Введение. Основные понятия и терминология катализа	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3
2	Гомогенный кислотно-основной катализ	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3
3	Металлокомплексный катализ	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3
4	Гетерогенный катализ. Основные промышленные каталитические процессы	лабораторные/ практические	Групповая дискуссия / коллоквиум	3
Итого часов				12

VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

Оценочные средства (ОС):

Оценочные средства текущего контроля формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета. Назначение оценочных средств текущего контроля - выявить у обучающихся сформированность компетенций: ПК-4.1

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых

			контролируются
1	Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума. КР	Введение. Основные понятия и терминология катализа	ПК-4
2	Выполнение лабораторных работ. Отчет по ЛР. Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума.	Гомогенный кислотно-основной катализ	ПК-4
3	Выполнение лабораторных работ. Отчет по ЛР. Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума. КР	Металлокомплексный катализ	ПК-4
4	Выполнение лабораторных работ. Отчет по ЛР. Практические задания. Собеседование в форме коллоквиума.	Гетерогенный катализ.	ПК-4
5	Собеседование в форме коллоквиума	Основные промышленные каталитические процессы	ПК-4

ВОПРОСЫ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

Коллоквиум №1. Терминология катализа. Причины каталитического действия

1. Роль катализа в химической и нефтехимической промышленности.
2. Терминология катализа.
3. Классификация катализаторов и каталитических процессов.
4. Причины каталитического действия. Слитный и стадийный механизмы катализа.
5. Количественная характеристика катализаторов: активность, стабильность, частота оборотов и число оборотов каталитических процессов.
6. Субстратная селективность, региоселективность и энантиоселективность.
7. Явление промотирования, отравления и модифицирования в катализе.
8. Классификация катализаторов и каталитических процессов: по агрегатному состоянию; по механизму катализа, по функциональности.

Коллоквиум №2. Гомогенный катализ

1. Общие аспекты гомогенного катализа. Теория Абея – Шпитальского. Методы построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакций.
2. Квазиравновесное и квазистационарное приближения. Уравнение Михаэлиса-Ментен для односубстратной реакции и его анализ.
3. Классификация гомогенного кислотно-основного катализа.
4. Протолитический и прототропный механизмы кислотно-основного катализа.
5. Специфический кислотно-основной катализ.

6. Общий кислотно-основной катализ.
7. Кислотность и основность реакционной среды. Функция кислотности. Суперкислотные и суперосновные катализаторы.
8. Механизмы кислотного и электрофильного катализа, нуклеофильных и электрофильных реакций замещения, отщепления и присоединения

Коллоквиум №3. Металлокомплексный катализ

1. Основные понятия химии координационных соединений.
2. Основные стадии в металлокомплексном катализе: обратимое комплексообразование, внедрение по связи металл - лиганд, β и (α)-элиминирование, окислительное присоединение, восстановительное элиминирование.
3. Субстратный и гидридный механизмы гомогенного каталитического гидрирования ненасыщенных соединений под действием нейтральных и катионных комплексов родия металлов.
4. Изомеризация, ди-, олиго-, полимеризации алкенов ненасыщенных углеводородов под действием комплексов переходных металлов.
5. Формирование, дезактивация и регенерация активных в катализе комплексов никеля на примере катализаторов циглеровского типа ди- и олигомеризации алкенов.
6. Процессы саморегулирования в металлокомплексном катализе.

Коллоквиум №4. Гетерогенный катализ

1. Гетерогенный катализ: активный компонент и носитель. Основные функции носителя (примеры).
2. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и к пористой структуре катализаторов. Пористая структура катализаторов и методы ее формирования и исследования
3. Типы гетерогенных катализаторов и основные методы их получения.
4. Применение капиллярной конденсации и ртутной порометрии для анализа пористой структуры твердых тел.
5. Современные представления о природе активных центров гетерогенных катализаторов. Методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел.
6. Адсорбционные методы измерения поверхности катализаторов и концентрации каталитически активных центров.
7. Ленгмюровская кинетика моно- и бимолекулярных каталитических реакций. Вид кинетических уравнений в зависимости от природы лимитирующей стадии.
8. Гетерогенные катализаторы кислотной природы. Цеолиты.
9. Важнейшие промышленные каталитические процессы: получение водорода и синтез-газа; синтез аммиака и метанола, синтез Фишера – Тропше; гидрирование и дегидрирование органических соединений.
10. Каталитические процессы в нефтепереработке: крекинг, гидрокрекинг, риформинг, изомеризация.

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ И ЗАДАНИЙ К ЭКЗАМЕНУ

1. Формулировка явления катализ. Классификация катализаторов и каталитических процессов. Применение катализа в промышленности.
2. Причины каталитического действия. Общая схема механизма каталитических реакций. Каталитический цикл.
3. Активность, стабильность, частота оборотов и число оборотов каталитических процессов. Явление промотирования, отравления и модифицирования в катализе.
4. Общие аспекты гомогенного катализа. Теория Абея–Шпитальского. Методы построения кинетических уравнений каталитических реакций, их связь с механизмом реакций.
5. Уравнение Михаэлиса – Ментен: вывод и анализ.
6. Классификация кислотно-основного катализа. Прототропный и протолитический механизмы кислотно-основного катализа.
7. Специфический кислотно-основной катализ.
8. Общий кислотно-основной катализ. Соотношение Бренстеда–Поляни.
9. Кислотность и основность реакционной среды. Функция кислотности.
10. Основные понятия химии координационных соединений : комплекс, центральный атом (ион), лиганд, дентатность лиганда, π -комплексы, донорно-акцепторное и донорно-дативное взаимодействие (модель Дьюара-Чатта-Дункансона). Правило 18 электронов.
11. Ключевые стадии металлокомплексного катализа.
12. Механизмы гомогенного каталитического гидрирования, изомеризации, ди- и олигомеризации ненасыщенных углеводородов под действием комплексов переходных металлов.
13. Формирование, дезактивация и регенерация активных в катализе комплексов на примере систем циглеровского типа. Основные функции алюминийорганических соединений. Природа каталитически активных комплексов. Роль комплексов NI(I).
14. Процессы саморегулирования в металлокомплексном катализе.
15. Гетерогенный катализ. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и к пористой структуре катализаторов.
16. Типы гетерогенных катализаторов и основные методы их получения.
17. Современные представления о природе активных центров гетерогенных катализаторов. Методы исследования структуры и состава поверхностного слоя твердых тел.
18. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам и пористой структуре катализаторов.
19. Пористая структура катализаторов и методы ее формирования и исследования. Адсорбционные методы измерения поверхности катализаторов и концентрации каталитически активных центров.
20. Ленгмюровская кинетика моно- и бимолекулярных каталитических реакций. Вид кинетических уравнений в зависимости от природы лимитирующей стадии. Кинетическая и диффузионная области катализа.
21. Факторы, обуславливающие селективность гетерогенных катализаторов в параллельных и последовательных реакциях. Термодинамический фактор селективности. Влияние пористой структуры на свойства катализатора.
22. Основные промышленные каталитические процессы. Получение водорода и синтез-

газа. Синтез аммиака и метанола, синтез Фишера - Тропша. Гидрирование и дегидрирование органических соединений.

23. Каталитические процессы в нефтепереработке: крекинг, гидрокрекинг, риформинг, изомеризация.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть)	Процедура оценивания
ПК-4.1 Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии	Знает: понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного катализа	Собеседование в форме коллоквиума. Отчеты по лабораторным работам Практические задания
	Умеет: проводить экспериментальные исследования в области катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов.	Практические задания. Отчеты по лабораторным работам.
	Владеет: навыками к интерпретации результатов каталитического эксперимента	Собеседование в форме коллоквиума. Практические задания. Отчеты по лабораторным работам.

Программа оценивания контролируемых компетенций:

Тема или раздел дисциплины ¹	Код индикатора компетенции	Планируемый результат	Показатель	Критерий оценивания	Наименование ОС ²	
					ТК ³	ПА ⁴
Введение	ИДК_{ПК-4.1} Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии	Знать: понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного катализа.	Знает: терминологию, понятийный аппарат и классификацию катализа и катализаторов, роль катализа в химической и нефтехимической промышленности, основные этапы его становления.	Владеет материалом, представленным в разделе «Введение». Вопросы для устного собеседования коллоквиума 1, вопросы № 1-9. Тест	Кл, Т	Экзамен
2 Гомогенный кислотно-основной катализ	ИДК_{ПК-4.1} Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии	Знать: понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного катализа. Уметь: проводить экспериментальные исследования в области катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов. Владеть: навыками к интерпретации результатов каталитического эксперимента	Знает: катализаторы, классификацию и механизмы гомогенного кислотно-основного катализа: общего и специфического катализа. Умеет : проводить экспериментальные исследования в области кислотно-основного катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов. Владет: навыками дискриминации гипотез о	Владеет материалом, представленным в разделе 2. Вопросы для устного собеседования, коллоквиум 2, №№ 1-8. Выполнил ЛР. Представил отчеты по лабораторным работам. Выполнил 2/3 практических	Кл., О, ПЗ	

			механизме кислотно-основного катализа на основе вывода и анализа кинетических уравнений и результатов каталитического эксперимента.	заданий.		
3 Металлокомплексный катализ	ИДЖ_{ПК-4.1} Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии	Знать: понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного катализа. Уметь: проводить экспериментальные исследования в области катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов. Владеть: навыками к интерпретации результатов каталитического эксперимента	Знает: элементарные стадии координационного катализа, механизмы формирования и функционирования активных в катализе комплексов переходных металлов в реакциях превращения ненасыщенных соединений. Умеет : проводить экспериментальные исследования в области металлокомплексного катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов. Владет: навыками описания схем механизмов каталитических процессов и анализа кинетических уравнений и результатов каталитического	Владеет материалом, представленным в разделе 3. Вопросы для устного собеседования, коллоквиум 3, №№ 1-6. Выполнил ЛР. Представил отчеты по лабораторным работам. Выполнил 2/3 практических заданий.	Кл., О, ПЗ	

			эксперимента.			
4 Гетерогенный катализ	ИДК_{ПК-4.1} Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии	Знать: понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного катализа. Уметь: проводить экспериментальные исследования в области катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов. Владеть: навыками к интерпретации результатов каталитического эксперимента	Знает: типы гетерогенных катализаторов и способы их получения; подходы для исследования текстуры катализаторов; вид кинетических уравнений в зависимости от природы лимитирующей стадии. Умеет : проводить экспериментальные исследования в области гетерогенного катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов. Владет: навыками описания схем механизмов каталитических процессов и анализа кинетических уравнений и результатов каталитического эксперимента.	Владеет материалом, представленным в разделе 4. Вопросы для устного собеседования, коллоквиум 4, №№ 1-7. Выполнил ЛР. Представил отчеты по лабораторным работам. Выполнил 2/3 практических заданий.	Кл., О, ПЗ	
5 Основные промышленные каталитические процессы	ИДК_{ПК-4.1} Проводит экспериментальные исследования по заданной теме в выбранной области химии	Знать: понятийный аппарат и физико-химические основы важнейших разделов катализа: гомогенного, металлокомплексного и гетерогенного катализа. Уметь: проводить экспериментальные	Знает: основные промышленные каталитические процессы и природоохранные каталитические технологии.	Владеет материалом, представленным в разделе 4. Вопросы для устного собеседования, коллоквиум 4,	Кл.	Экзамен

		исследования в области катализа и обрабатывать результаты каталитических экспериментов. Владеть: навыками к интерпретации результатов каталитического эксперимента		№№ 8-9.		
--	--	--	--	---------	--	--

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ:

промежуточная аттестация – экзамен

В соответствии с бально-рейтинговой системой ИГУ для получения допуска к экзамену по дисциплине «Катализ» студенту необходимо набрать не менее 50 баллов.

1. Обязательным условием является выполнение студентом 4 лабораторных работ по данной дисциплине, подготовка и сдача отчетов по ЛР. Каждая ЛР оценивается максимум на 5 баллов. При выполнении лабораторных работ оценивается техника выполнения, оформление отчетов, включающее расчеты каталитических характеристик и физических величин, представление графического материала.
Критерии оценивания отчета по ЛР следующие:
 - а) написана цель ЛР и краткое теоретическое обоснование (1 б),
 - б) приведены формулы для расчета и уравнения химических реакций (1 б),
 - в) правильно выполнен расчет соответствующих величин, выведены размерности этих величин, проведена (при необходимости) графическая обработка результатов, сделан вывод по полученным результатам (3 б),
 - д) После трехкратного возвращения отчета студенту оценка за отчет снижается на 1 балл.
 - е) Поощрительно дается 2 б за своевременное и качественное написание всех отчетов и отличное владение материалом.
2. Предусмотрено 4 собеседования по теоретическому материалу в виде коллоквиумов. Каждая тема оценивается максимум на 5 баллов.
3. Предусмотрено решение задач на 9 практических занятиях. Выполнение тестовых практических заданий по каждой теме оценивается в 2 балла.
4. Максимальное количество баллов на экзамене - 30.

Оценка «отлично»:

сформированные и систематизированные знания предмета, сформированные умения и навыки комплексного использования теоретических основ катализа, применения методов и подходов данной дисциплины при решении учебных и практических задач различного уровня сложности (86-100 баллов).

Оценка «хорошо»:

в целом, сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания предмета «Катализ», умение применять методы и подходы изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач с минимальным количеством ошибок не принципиального характера, наличие навыков применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач (71 - 85 баллов).

Оценка «удовлетворительно»:

несистематизированные знания предмета «Катализ», частично сформированные умения и навыки применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных задач (60-70 баллов).

Оценка «неудовлетворительно»:

фрагментарное знание предмета, отсутствие умений и навыков применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных задач (менее 60 баллов).

Разработчики:



доцент М.В. Пахомова

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учетом рекомендаций ПООП по направлению и профилю подготовки 04.04.01 – «Химия».

Программа рассмотрена на заседании кафедры физической и коллоидной химии «8» июня 2023 г.

Протокол № 7.

И.о. зав. кафедрой



/Л.Б. Белых/

Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.