

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского»**

Химический факультет

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
« 16 » июня 2021 г. № 8

**Рабочая программа дисциплины
МЕТАЛЛОКОМПЛЕКСНЫЙ КАТАЛИЗ**

Уровень высшего образования

Специалитет

Направление подготовки / специальность

04.05.01 – Фундаментальная и прикладная химия

Направленность образовательной программы

Органическая химия

Форма обучения

Очная

Нижний Новгород
2021 год

Лист актуализации

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

4 июня 2021 г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры физической химии.

Протокол от _____ 20__ г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

_____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 20__ -20__ учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 20__ г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

_____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 20__ -20__ учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 20__ г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

_____ 20__ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для исполнения в 20__ -20__ учебном году на заседании кафедры

Протокол от _____ 20__ г. № ____

Зав. кафедрой _____

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Металлокомплексный катализ» относится к вариативной части Блока 1 ОПОП по направлению подготовки 04.05.01 – Фундаментальная и прикладная химия (Б1.В.03.ДВ.04.02), является дисциплиной по выбору для освоения студентами очной формы обучения, специализирующимися по кафедре физической химии, на четвертом году обучения в 8 семестре.

Для освоения дисциплины «Металлокомплексный катализ» обучающиеся используют знания, умения и виды деятельности, сформированные в процессе изучения базовых дисциплин «Физическая химия», «Органическая химия», «Химия элементоорганических соединений».

Цели и задачи освоения дисциплины «Металлокомплексный катализ»

Целью освоения дисциплины «Металлокомплексный катализ» является углубленное изучение современных теорий катализа химических превращений, обсуждение новейших данных по химической кинетике и катализу, анализ практической значимости катализа промышленных процессов и обсуждение экологических проблем.

Учебные задачи курса направлены на освоение студентами:

- основных принципов катализа;
- принципов металлокомплексного катализа;
- экспериментальных методов, применяемых для изучения кинетических закономерностей каталитических химических реакций.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции*	Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-1-н. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области органической химии, и/или смежных с химией науках	ПК-1-н-1. Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий ПК-1-н-2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	<i>З1:</i> Знать важнейшие положения и принципы гомогенного катализа, базирующиеся на основных теориях химической кинетики. <i>У1:</i> Уметь планировать последовательность действий в ходе кинетического эксперимента; проводить кинетический анализ с позиций принципа стационарности и квазиравновесия и математическую обработку полученных результатов. <i>В1:</i> Владеть навыками проведения кинетического эксперимента с целью	ФОС «Металлокомплексный катализ»

		получения важнейших кинетических характеристик химических процессов.	
ПК-2-н. Способен проводить информационные исследования в области органической химии и/или смежных с химией науках	ПК-2-н-1. Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных ПК-2-н-2. Анализирует и обобщает результаты поиска по тематике проекта в области органической химии и/или смежных с химией науках	<i>З1:</i> Знать фундаментальные законы и понятия важнейших разделов химической кинетики и теории металлокомплексного, кислотно-основного и гетерогенного катализа. <i>У1:</i> Уметь использовать аппарат химической кинетики для решения конкретных физико-химических задач. <i>В1:</i> Владеть современными подходами кинетического описания реагирующей системы.	ФОС «Металлокомплексный катализ»
ПК-3-н. Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области органической химии и/или смежных с химией науках	ПК-3-н-1. Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными ПК-3-н-2. Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	<i>З1:</i> Знать методы анализа кинетики каталитических процессов, в том числе сложных кинетических схем <i>У1:</i> Уметь анализировать полученные в ходе работы данные для решения конкретных физико-химических и препаративных задач. <i>В1:</i> Владеть методами обработки экспериментальных данных химической кинетики.	ФОС «Металлокомплексный катализ»
ПК-1-т. Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР в области органической химии	ПК-1-т-1. Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР ПК-1-т-2. Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР ПК-1-т-3. Предлагает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для	<i>З1:</i> Знать основные параметры системы, способных влиять на каталитические процессы (температура, давление, природа реагентов, растворителя, структура катализатора). <i>У1:</i> Уметь применять знания металлокомплексного катализа для решения конкретной препаративной и технологической задачи. <i>В1:</i> Владеть методами	ФОС «Металлокомплексный катализ»

	<p>решения поставленных задач в рамках прикладных НИР</p> <p>ПК-1-т-4. Проводит испытания инновационной продукции</p>	оценки эффективности каталитических процессов, а также методами повышения данной эффективности.	
--	--	---	--

Окончательное завершение формирования компетенций, предусмотренных в рамках данной дисциплины, происходит при прохождении производственных практик и выполнения ВКР.

3. Структура и содержание дисциплины «Металлокомплексный катализ»

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	9 ЗЕТ
Часов по учебному плану	324
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	64
- занятия семинарского типа	64
- лабораторные занятия	96
- КСИРФ	2
самостоятельная работа	62
Промежуточная аттестация – экзамен	36

3.2. Структура дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Раздел 1. Общие принципы катализа	88	20	18	32	70	18
Раздел 2. Ключевые реакции в металлокомплексн	100	22	24	32	78	22

ом катализе						
Раздел 3. Металлокомплекс ный катализ важнейших промышленных процессов	98	22	22	32	76	22
Контроль самостоятельной работы	2					
Промежуточная аттестация – экзамен	36					
Итого	324	64	64	96	192	62

Промежуточный контроль осуществляется при проведении экзамена.

3.3. Содержание разделов дисциплины

Раздел 1. Общие принципы катализа

Определение катализа. Феноменология катализа. Гетерогенный и гомогенный катализ.Metalloкомплексный и ферментативный катализ. Общие принципы катализа. Слитный и раздельный механизмы в катализе. Степень компенсации. Принцип геометрического и энергетического соответствия. Роль катализатора в снятии запрета по симметрии. Изменение катализаторов под действием среды.

Раздел 2. Ключевые реакции в металлокомплексном катализе

Особенности строения комплексов переходных металлов и их каталитические свойства. Классическая модель связывания ненасыщенных соединений с атомом переходного металла. Прочность химических связей в комплексах. Буферные свойства лигандов. Роль многоядерных комплексов в катализе. Ключевые реакции в металлокомплексном катализе. Координация лигандов и лигандный обмен. Окислительное присоединение и восстановительное элиминирование. Реакции внедрения. Перенос β -атома водорода. Внешняя нуклеофильная атака.

Раздел 3. Metalloкомплексный катализ важнейших промышленных процессов

Активация лигандов в координационной сфере переходного металла как причина металлокомплексного катализа. Metalloкомплексный катализ – модель, связывающая гомогенный, гетерогенный и ферментативный катализ. Роль многоэлектронных процессов в металлокомплексном катализе. Metalloкомплексный катализ реакций малых молекул: N_2 , CO, H_2 и др. Активация и связывание молекулярного азота. Фотосинтез: общее описание, блок-схемы фотосинтеза. Описание фотосинтеза с помощью Z-схем. Metalloкомплексный катализ реакций важнейших промышленных процессов: гидрирования, полимеризации, метатезиса, карбонилирования, окисления и т.д.

3.4. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	Раздел 1	Биомиметическое окисление производных фенола.

2	Раздел 2	Математическое моделирование сложных каталитических схем. Гомогенное гидрирование алкенов.
3	Раздел 3	Автокаталитические окислительно-восстановительные реакции.

В соответствии с рабочей программой и тематическим планом изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Учебный процесс в аудитории осуществляется в форме лекций.

Рекомендуемые образовательные технологии: рейтинговая технология, технология интегративного, проблемного, инновационного, личностно-ориентированного, дифференцированного, индивидуального, развивающего обучения и гуманистического образования. Предусматривается чтение части лекций с использованием мультимедийных средств обучения.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов включает работу в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях) и в домашних условиях, с доступом к ресурсам Интернет для подготовки к устному опросу.

К формам текущего контроля успеваемости дисциплины относится **экзамен**.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяются:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме в виде ответа обучающегося на экзаменационный билет, включающий 2 теоретических вопроса, на которые студент должен дать обстоятельный ответ.

Для проведения промежуточного контроля сформированности компетенции используются: ответ по билету на экзамене.

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки,	Уровень знаний в объеме, превышающе

	знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	ошибки.	ошибки.	негрубых ошибок	несущественных ошибок	без ошибок.	м программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»

	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

Перечень примерных вопросов (для экзамена) для оценки сформированности знаний компетенции ПК-1-н:

1. Природа и механизм действия катализаторов. Слитный и раздельный механизмы катализа. Катализ реакций, запрещенных по симметрии.
2. Буферные свойства лигандов. Одноядерные и многоядерные комплексы.
3. Особенности строения и каталитические свойства комплексов переходных металлов.
4. Активация парафиновых углеводородов на металлокомплексах и кислотах Льюиса.

Перечень примерных вопросов (для экзамена) для оценки сформированности знаний компетенции ПК-2-н:

1. Катализ. Феноменология катализа. Отравление, промотирование и модифицирование катализаторов. Кинетический и термодинамический аспекты катализа.
2. Природа и механизм действия катализаторов. Компенсационный эффект. Принцип геометрического и энергетического соответствия. Изменение свойств катализаторов под воздействием среды.
3. Ключевые реакции в металлокомплексном катализе.

Перечень примерных вопросов (для экзамена) для оценки сформированности знаний компетенции ПК-3-н:

1. Метатезис алкенов на металлокомплексных катализаторах. Карбеновый механизм.
2. Димеризация, олигомеризация и полимеризация алкенов на металлокомплексных катализаторах. Катализаторы Циглера-Натта. Металлоценовые катализаторы. Их преимущества для получения стереорегулярных полимеров.
3. Каталитические реакции с участием карбониллов металлов. Оксо-процесс.
4. Основные элементарные стадии фотосинтеза. Z-схема фотосинтеза. Роль ионов марганца в окислении воды, как ключевой стадии фотосинтеза.
5. Гомогенное гидрирование. Активация молекулярного водорода. Механизм реакции.
6. Роль многоэлектронных процессов в металлокомплексном катализе. Активация и восстановление молекулярного азота.

Перечень примерных вопросов (для экзамена) для оценки сформированности знаний компетенции ПК-1-г:

1. Фотосинтез. Энергетика. Общая схема и блок-схема процесса фотосинтеза.

2. Общие представления о гетерогенно-каталитических процессах. Физическая и активированная адсорбция. Скорость гетерогенно-каталитических реакций.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Теоретическая подготовка к промежуточной аттестации может осуществляться по следующим литературным источникам:

6.1. Основная литература

1. Романовский, Б.В. Основы катализа [Текст]: Учебное пособие / Б.В. Романовский. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 172 с.
2. Денисов, Е.Т. Химическая кинетика [Текст]: Учебник / Е.Т. Денисов, О.Н. Саркисов, Г.И. Лихтенштейн. – М.: Химия, 2000. – 568 с.
3. Хенрици-Оливэ, Г. Координация и катализ [Текст]: Монография / Г. Хенрици-Оливэ, С. Оливэ. – М.: Мир, 1980. – 421 с.
4. Грин, М. Металлоорганические соединения переходных элементов [Текст]: Учебное пособие / М. Грин. – М.: Мир, 1972. – 456 с.

6.2. Дополнительная литература

1. Темкин, О.Н. Гомогенный металлокомплексный катализ. Кинетические аспекты [Текст]: Монография / О.Н. Темкин. – М.: Академкнига, 2008. – 918 с.
2. Крылов, О.В. Гетерогенный катализ [Текст]: Учебное пособие / О.В. Крылов. – М.: Академкнига, 2004. – 679 с.
3. Накамура, А. Принципы и применение гомогенного катализа [Текст]: Учебное пособие / А. Накамура, М. Цуцуи. – М.: Мир, 1983. – 231 с.

6.3. Рекомендуемая литература

1. Боресков, Г.К. Гетерогенный катализ [Текст]: Монография / Г.К. Боресков. – М.: Наука, 1986. – 302 с.
2. Хенрици-Оливэ, Г. Химия каталитического гидрирования СО [Текст]: Учебное пособие / Г. Хенрици-Оливэ, С. Оливэ. – М.: Мир, 1987. – 248 с.
3. Лич, Б. Катализ в промышленности (в 2-х томах) [Текст]: Учебник / под ред. Б. Лича. – М.: Мир, 1986. – 615 с.

6.4. Интернет-ресурсы

<http://elibrary.ru>.
<http://link.springer.com>.
<http://www.sciencedirect.com>.
<http://pubs.acs.org>.
<http://pubs.rsc.org>.
<http://www.uspkhim.ru>.
<http://webbook.nist.gov>.
<http://www.chem.msu.ru/cgi-bin/tkv.pl>.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе ZNANIUM.COM, доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС ZNANIUM.COM содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех

изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства «Лань», доступ к которой также предоставлен студентам. ЭБС Издательства «Лань» включает в себя электронные версии книг издательства «Лань» и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства «Лань» обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническое обеспечение лекционных занятий: видеопроектор, ноутбук, переносной экран, проектор, доска.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ. Приказ ННГУ от 13.05.2020г. № 275-ОД «О введении в действие образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»

Авторы:

доктор химических наук, профессор _____ Фомин В.М.

кандидат химических наук, доцент _____ Арсеньев М.В.

Рецензент:

доктор химических наук, профессор,

профессор кафедры химии нефти

химического факультета _____ Артемов А.Н.

Заведующий кафедрой физической химии

доктор химических наук, профессор _____ Маркин А.В.