

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Металлокомплексный катализ

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

04.04.01 - Химия

---

Направленность образовательной программы

Физическая химия

---

Форма обучения

очно-заочная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.02 Металлокомплексный катализ является факультативом в образовательной программе.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1-н: Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках	<p>ПК-1-н-1: Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий</p> <p>ПК-1-н-2: Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов</p>	<p>ПК-1-н-1: Знать важнейшие положения и принципы гомогенного катализа, базирующиеся на основных теориях химической кинетики. Уметь планировать последовательность действий в ходе кинетического эксперимента; проводить кинетический анализ с позиций принципа стационарности и квазиравновесия и математическую обработку полученных результатов. Владеть навыками проведения кинетического эксперимента с целью получения важнейших кинетических характеристик химических процессов</p> <p>ПК-1-н-2: Знать методы анализа кинетики каталитических процессов, в том числе сложных кинетических схем. Уметь анализировать полученные в ходе работы данные для решения конкретных физикохимических и препаративных задач. Владеть методами обработки экспериментальных данных химической кинетики.</p>	Реферат	Зачёт: Контрольные вопросы

--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очно-заочная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>1</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>36</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
<b>самостоятельная работа</b>	<b>3</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b>
	<b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование 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 (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 3 Ф 0	0 3 Ф 0	0 3 Ф 0	0 3 Ф 0	0 3 Ф 0
Раздел 1. Общие принципы катализа	8	8		8	
Раздел 2. Ключевые реакции в металлокомплексном катализе	9	8		8	1
Раздел 3. Металлокомплексный катализ в органической химии	9	8		8	1
Раздел 4. Металлокомплексный катализ важнейших промышленных процессов	9	8		8	1
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	36	32	0	33	3

#### Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Общие принципы катализа

Природа и механизм действия катализаторов. Слитный и раздельный механизмы катализа. Катализ

реакций, запрещенных по симметрии. Катализ. Феноменология катализа. Отравление, промотирование и модифицирование катализаторов. Кинетический и термодинамический аспекты катализа. Компенсационный эффект. Принцип геометрического и энергетического соответствия. Изменение свойств катализаторов под воздействием среды. Особенности строения и каталитические свойства комплексов переходных металлов. Одноядерные и многоядерные комплексы в каталитических превращениях. Синергетический эффект в катализе.

## Раздел 2. Ключевые реакции в металлокомплексном катализе

Ключевые реакции в металлокомплексном катализе. Экспериментальные методы изучения каталитических циклов. Определение строения интермедиатов методом ИК, ЯМР, масс-спектро스코пии. Активация парафиновых углеводородов на металлокомплексах и кислотах Льюиса. Роль многоэлектронных процессов в металлокомплексном катализе. Активация и восстановление молекулярного азота.

## Раздел 3. Металлокомплексный катализ в органической химии

Базовые принципы фоторедокс-каталитических превращений органических субстратов. Электрокаталитические процессы с участием координационных соединений. Одноядерные и многоядерные комплексы в каталитических превращениях. Реакции олигомеризации в каталитических превращениях. Каталитическое карбонилирование спиртов для синтеза ценных продуктов. Каталитические превращения с участием эпоксидов. Синтез поликарбонатов. Каталитическое гидроформилирование для синтеза ценных органических продуктов. Каталитическое гидросилилирование. Метод синтеза новых материалов. Каталитическое гидроцианирование для синтеза ценных органических продуктов. Каталитическое гидроаминирование алкенов. Реакция кросс-сочетания. Применение в органической химии и химии материалов. Гомогенное гидрирование. Активация молекулярного водорода. Механизм реакции. Каталитические процессы с участием молекулярного кислорода.

## Раздел 4. Металлокомплексный катализ важнейших промышленных процессов

Место катализа в концепции «зеленой химии». Промышленные каталитические процессы. Параметры, описывающие эффективность каталитических превращений. Димеризация, олигомеризация и (со)полимеризация алкенов на металлокомплексных катализаторах. Катализаторы Циглера-Натта. Металлоценовые катализаторы. Метатезис алкенов. Карбеновый механизм. Метатезис – как ключевая реакция получения новых материалов.

## 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

1. Фомин В.М. Химическая кинетика и катализ: учебное пособие для вузов. - Санкт-Петербург: Лань, 2024. - 348 с
2. Фомин В.М., Маркин А.В. Кинетические закономерности протекания сложных реакций: Учебное пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. - 85 с.
3. Арсеньев М.В., Сологубов С.С. Окислительно-восстановительные реакции координационных

соединений: Учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. - 32 с.

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Реферат) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н:**

1. Применение масс-спектропии в изучении интермедиатов гомогенного катализа.
2. Физико-химические методы идентификации интермедиатов каталитического процесса.
3. Схема получения уксусной кислоты.
4. Синтез поликарбоната.
5. Каталитическое энантиоселективное гидрирование олефинов.
6. Применение комплексов щелочно-земельных металлов в каталитических превращениях алкинов.
7. Каталитическое разложение воды.
8. Реакции олигомеризации алкинов с использованием соединений Ni(0)
9. Каталитическое окисление спиртов.
10. Редокс-активные лиганды в каталитических превращениях галогеноводородов.

#### **Критерии оценивания (оценочное средство - Реферат)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	
отлично	
очень хорошо	
хорошо	
удовлетворительно	
неудовлетворительно	
плохо	

### **5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации**

#### **Шкала оценивания сформированности компетенций**

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем 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 и несущественными 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 базовых навыков. 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 оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности 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.
5. Катализ. Феноменология катализа. Отравление, промотирование и модифицирование катализаторов. Кинетический и термодинамический аспекты катализа.
6. Природа и механизм действия катализаторов. Компенсационный эффект. Принцип геометрического и энергетического соответствия. Изменение свойств катализаторов под воздействием среды.
7. Ключевые реакции в металлокомплексном катализе.
8. Метатезис алкенов на металлокомплексных катализаторах. Карбеновый механизм.
9. Димеризация, олигомеризация и полимеризация алкенов на металлокомплексных катализаторах. Катализаторы Циглера-Натта. Металлоценовые катализаторы. Их преимущества для получения стереорегулярных полимеров.
10. Каталитические реакции с участием карбониллов металлов. Оксо-процесс.
11. Основные элементарные стадии фотосинтеза. Z-схема фотосинтеза. Роль ионов марганца в окислении воды, как ключевой стадии фотосинтеза.
12. Гомогенное гидрирование. Активация молекулярного водорода. Механизм реакции.
13. Роль многоэлектронных процессов в металлокомплексном катализе. Активация и восстановление молекулярного азота.
14. Фотосинтез. Энергетика. Общая схема и блок-схема процесса фотосинтеза.
15. Общие представления о гетерогенно-каталитических процессах. Физическая и активированная адсорбция. Скорость гетерогенно-каталитических реакций.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Допустимый уровень знаний выше минимального. Продемонстрированы основные умения. При решении типовых заданий могут быть негрубые ошибки. Имеется набор навыков выше минимального для решения стандартных задач с некоторыми недочетами
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки. Или невозможность оценить наличие знаний, умений и навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

### Основная литература:

1. Романовский Борис Васильевич. Основы катализа : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению ВПО 020100 - бакалавр химии и специальности ВПО 020201 - "Фундам. и приклад. химия". - М. : Бином. Лаборатория знаний, 2015. - 172 с. : ил. - (Учебник для высшей школы). - ISBN 978-5-9963-0520-9 : 288.00., 4 экз.
2. Денисов Евгений Тимофеевич. Химическая кинетика : учебник для вузов. - М. : Химия, 2000. - 568 с. : ил. - 182.00., 2 экз.
3. Хенрици-Оливэ Г. Координация и катализ / пер. с англ. С. Л. Давыдовой. - М. : Мир, 1980. - 421 с. : ил. - 4.20., 3 экз.
4. Грин М. Металлоорганические соединения переходных элементов / пер. с англ. Л. И. Денисович ; под ред. [и с предисл.] С. П. Губина. - М. : Мир, 1972. - 456 с., 1 л. табл. : черт. - 3.04., 4 экз.

### Дополнительная литература:

1. Темкин Олег Наумович. Гомогенный металлокомплексный катализ. Кинетические аспекты. - М. : ИКЦ "Академкнига", 2008. - 918 с. : ил. - ISBN 978-5-94628-336-6 : 295.00., 1 экз.
2. Боресков Георгий Константинович. Гетерогенный катализ : отв. ред. К. И. Замараев ; АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т катализа. - М. : Наука, 1986. - 302, [1] с., [1] л. портр. : ил. - 3.20., 1 экз.
3. Фомин Владимир Михайлович. Гомогенный и гетерогенный катализ. Применение теории активированного комплекса к гетерогенным реакциям : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подгот. 04.03.01 "Химия", 04.04.01 "Химия" и специальности 04.05.01 "Фундаментальная химия" / В. М. Фомин, А. В. Маркин ; ННГУ. - Нижний Новгород : Изд-во ННГУ, 2020. - 68 с. - ISBN 978-5-91326-600-2 : 95.25., 2 экз.
4. Крылов Олег Валентинович. Гетерогенный катализ : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 011013 "Химическая кинетика и катализ" специальности 011000 "Химия" / [рец.: Г. В. Лисичкин, Б. Р. Шуб]. - М. : Академкнига, 2004. - 679 с. : ил. - (Классический университетский учебник XXI века). - ISBN 5-94628-141-0 : 276.80., 2 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):



<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 (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 04.04.01 - Химия.

Автор(ы): Фомин Владимир Михайлович, доктор химических наук, профессор  
Арсеньев Максим Вячеславович, кандидат химических наук.

Рецензент(ы): Пискунов Александр Владимирович, доктор химических наук.

Заведующий кафедрой: Маркин Алексей Владимирович, доктор химических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 28.09.2023 г, протокол № 1.