

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 в органическом и нефтехимическом
синтезе

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
04.04.01 - Химия

Направленность образовательной программы
Органическая химия, нефтехимия и полимеры. Синтез и дизайн

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина ФТД.01 Металлокомплексный катализ в органическом и нефтехимическом синтезе 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:</p> <p>З1: Знать основы современных технологий сбора, обработки, хранения и представления результатов химических экспериментов.</p> <p>У1: Уметь использовать современные компьютерные технологии для обработки и представления результатов химических экспериментов.</p> <p>В1: Владеть навыками представления полученных результатов в виде отчетов с применением современных компьютерных технологий.</p> <p>Мотивация: опыт своевременного написания и предоставления отчетов с применением современных компьютерных технологий.</p> <p>ПК-1-н-2:</p> <p>З1: Знать основные методологические приемы подготовки реагентов, анализируемых веществ и оборудования, знать принципы работы современной аппаратуры.</p> <p>У1: Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности необходимые экспериментальные методы синтеза и анализа</p> | <p>Тест</p> <p>Задания</p> | <p>Зачёт:</p> <p>Контрольная работа</p> |

| | | | | |
|---|---|---|---------|---|
| | | <p>органических соединений, входящих в состав нефти и нефтепродуктов.</p> <p>В1: Владеть навыками работы на современном оборудовании при проведении научных исследований, методами обработки результатов проводимых экспериментов.</p> <p>Мотивация: приобретение опыта использования современного оборудования при проведении научных исследований в области органического и нефтехимического синтеза, катализируемых металлокомплексными соединениями.</p> | | |
| <p><i>ПК-2-н: Способен проводить информационные исследования в выбранной области химии, химической технологии и/или смежных с химией науках</i></p> | <p><i>ПК-2-н-1: Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных</i></p> <p><i>ПК-2-н-2: Анализирует и обобщает результаты информационного поиска по тематике проекта в выбранной области химии и/или смежных с химией науках</i></p> | <p>ПК-2-н-1:</p> <p>З1: Знать основные способы поиска сбора, анализа и обработки первичной информации с использованием современных ИТ-технологий.</p> <p>У1: Уметь осуществлять корректный поиск требуемой информации по металлокомплексному катализу в органическом и нефтехимическом синтезе.</p> <p>В1: Владеть навыками работы с современными базами данных при изучении дисциплины.</p> <p>ПК-2-н-2:</p> <p>З1: Знать основы современных технологий сбора, обработки, хранения и представления результатов химических экспериментов.</p> <p>У1: Уметь использовать современные компьютерные технологии для обработки и представления результатов химических экспериментов.</p> <p>В1: Владеть навыками представления полученных результатов в виде отчетов с применением современных</p> | Задания | <p>Зачёт:</p> <p>Контрольная работа</p> |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| | | компьютерных технологий. Мотивация: опыт своевременного написания и предоставления отчетов с применением современных компьютерных технологий. | | |
|--|--|--|--|--|

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

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

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 | |
| | О Ф О | О Ф О | О Ф О | О Ф О | О Ф О |
| Раздел 1. Основные понятия катализа комплексами переходных металлов. Комплексы переходных металлов | 4 | 4 | | 4 | 0 |
| Раздел 2. Ключевые стадии в катализе. Понятие о каталитическом цикле | 4 | 4 | | 4 | 0 |
| Раздел 3. Гидрирование. Гидросилилирование, гидроцианирование | 4 | 4 | | 4 | 0 |
| Раздел 4. Карбонилирование. Гидроформилирование. Реакция Релле. | 4 | 4 | | 4 | 0 |
| Раздел 5. Окисление | 4 | 4 | | 4 | 0 |
| Раздел 6. Реакции алкенов и диенов, катализируемые комплексами металлов | 4 | 4 | | 4 | 0 |

| | | | | | |
|---|----|----|---|----|---|
| Раздел 7. Реакции сочетания | 2 | 2 | | 2 | 0 |
| Раздел 8. Реакции метатезиса олефинов | 4 | 4 | | 4 | 0 |
| Раздел 9. Современные тенденции в металлокомплексном катализе | 5 | 2 | | 2 | 3 |
| Аттестация | 0 | | | | |
| КСР | 1 | | | 1 | |
| Итого | 36 | 32 | 0 | 33 | 3 |

Содержание разделов и тем дисциплины

Раздел 1. Основные понятия катализа комплексами переходных металлов. Комплексы переходных металлов

Кинетические и термодинамические аспекты гомогенного катализа. Свободная энергия как термодинамический критерий прохождения реакции. Энергия активации. Кинетическая сущность катализа. Основные термины катализа: активность, специфичность, избирательность и селективность. Стабильность катализатора, число оборотов и частота оборотов катализатора. Особенности электронного строения переходных металлов. Способность к образованию связей. Классификация лигандов. Типы связей в металлокомплексах. Координация переходных металлов с олефинами, монооксидом углерода, фосфинами, аренами, и т. д. Реакционная способность координированных частиц. Влияние лигандов на активность и селективность металлокомплексного катализатора. транс-эффект, электронный параметр, стерический параметр, «угол укуса». Способность к изменению степени окисления и координационного числа.

Раздел 2. Ключевые стадии в катализе. Понятие о каталитическом цикле

Окислительное присоединение и восстановительное элиминирование. Диссоциация лигандов и лигандный обмен. Процесс внедрения, -элиминирования, - перегруппировки, реакции координированных лигандов. Основные стадии каталитического цикла. Создание координационной ненасыщенности. Правило «16 и 18 электронов»; координация реагентов. Реакция между координированными молекулами. Регенерация исходных комплексов. Системы с несколькими каталитическими циклами.

Раздел 3. Гидрирование. Гидросилилирование, гидроцианирование

Гидрирование алкенов на комплексах переходных металлов на примере родиевого катализатора Уилкинсона. Механизм реакции гидрирования. Экспериментальные данные, подтверждающие механизм реакции гидрирования. Влияние фосфиновых лигандов на процесс гидрирования. Гидрирование активированных олефинов на ионах цианида кобальта. Гомолитический механизм присоединения. Предполагаемый механизм этих реакций. Применение комплексов, содержащих -связь металл-углерод, в органических синтезах. Асимметрическое каталитическое гидрирование. Кинетическое и термодинамическое описание процесса.

Раздел 4. Карбонилирование. Гидроформилирование. Реакция Реппе.

Открытие, условия реакции и катализаторы гидроформилирования. Реакция гидроформилирования на немодифицированных кобальтовых катализаторах. Механизм реакции. Распределение изомерных продуктов. Правило Марковникова. Влияние электронных и стерических факторов. Роль давления в процессе гидроформилирования. Побочные продукты реакции. Технологическая схема процесса. Гидроформилирование на кобальткарбонильных системах, модифицированных третичными фосфинами. Условия реакции, основные продукты, влияние строения и основности фосфиновых лигандов на

активность и селективность реакции гидроформилирования. Изменение технологической схемы. Родиевые катализаторы. Особенности родиевых катализаторов по сравнению с кобальтовыми системами. Изменение условий реакции гидроформилирования при использовании родиевых катализаторов. Влияние концентрации фосфинового лиганда и давления в системе на активность и селективность реакции гидроформилирования. Катализаторы на основе других переходных металлов. Применение процессов гидроформилирования для получения практически важных соединений. Открытие реакции Реппе, катализаторы, общая схема реакции. Карбонилирование этилена до пропионовой кислоты с использованием карбонила никеля. Условия проведения и реакции Реппе. Возможные продукты реакции. Получение метилметакрилата. Синтез уксусной кислоты и уксусного ангидрида. Получение фенилуксусной кислоты.

Раздел 5. Окисление

Гомолитическое и гетеролитическое окисление. Их особенности и различия. Цепной свободнорадикальный механизм автоокисления. Окисление ксилола и циклогексана. Эпоксидирование алкенов. Механизм эпоксидирования с участием молибденсодержащего катализатора. Окисление алкенов на палладиево-медном катализаторе (Вакер-процесс). Открытие, механизм окисления. Варианты промышленного использования Вакер-процесса. Получение винилацетата. Окисление бензола, изопропилбензола (получение фенола и ацетона). Окисление ароматических углеводов в производстве карбоновых кислот.

Раздел 6. Реакции алкенов и диенов, катализируемые комплексами металлов

Димеризация этилена на комплексах никеля. Механизм и продукты димеризации. Олигомеризация и полимеризация алкенов. Катализаторы Циглера-Натта. Полиэтилен. Полипропилен. Атактические, синдиотактические и изотактические полимеры. Металлоценовые катализаторы полимеризации олефинов. Олигомеризация этилена в α -олефины. Производство высших олефинов (процесс Фирмы Шелл). Строение диеновых лигандов. Тенденция к образованию η^5 -аллильных комплексов. Гидрирование диенов до моноолефинов. Линейная димеризация на комплексах кобальта. Димеризация на системах, содержащих палладий (0). Содимеризация этилена и бутадиена. Циклоолигомеризация диенов. Циклоолигомеризация бутадиена. Работы Вилке. Циклотримеризация. Натуральный каучук. Пути создания синтетического каучука. Изомерные формы синтетического каучука. Структурная изомеризация. Геометрическая изомеризация.

Раздел 7. Реакции сочетания

Образование связи C-C в условиях металлокомплексного катализа. Реакции Хека, Сузуки, Соногашира, Кумады, Негиши, Стилле. Общий механизм реакций сочетания. Аминирование аренов по Бухвальду-Хартвигу.

Раздел 8. Реакции метатезиса олефинов

Реакция метатезиса олефинов. Открытие, применение в промышленности. Каталитические системы для проведения метатезиса. Механизм реакции. Метатезис алкинов. Практическое применение реакции метатезиса. Цис-транс-изомеризация алкенов.

Раздел 9. Современные тенденции в металлокомплексном катализе

Стереоспецифичность в металлокомплексном катализе. Способы получения энантиомерно-чистых соединений. Катализаторы стереоселективных реакций. Асимметрическое гидрирование, изомеризация, эпоксидирование, гидроформилирование. , рацемат. Фотосенсибилизация и фотокатализ. Имобилизованные катализаторы.

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. Артемов А.Н., Щепалов А.А. Карбонилирование в промышленном органическом синтезе. Учебно-методическое пособие. Н.Новгород: ННГУ, 2012. – 38 с.
2. Щепалов А.А. Каталитические процессы нефтепереработки. Часть I. Каталитический крекинг. Учебно-методическое пособие. Н.Новгород: ННГУ, 2011. – 27 с.
3. Ильичев И.С., Артемов А.Н. Основы нефтехимического синтеза. Руководство к спецпрактикуму по нефтехимическому синтезу для студентов химического факультета. Н.Новгород: ННГУ, 2005.- 37с.
4. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. Контролируемый синтез функциональных полимеров в условиях радикального инициирования и металлокомплексного катализа. Учебно-методическое пособие. Н.Новгород: ННГУ, 2011. – 50 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 - Тест) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н:

1.Какие вещества получают из пропилена в реакциях гидроформилирования на немодифицированных кобальтовых катализаторах?

- а) пропиловый спирт
- б) акриловая кислота
- в) смесь масляного и изомасляного альдегидов
- г) бутанол

2. Какой катализатор можно использовать для гидрирования бензола

- а) $K_3[Co(CN)_5]$
- б) Pd/C
- в) $RuCl_2(PPh_3)_3$
- г) Pt/SiO_2

3. Какой катализатор можно использовать в процессе окисления этилена кислородом в водной среде?

- а) H_2PtCl_4
- б) $\text{PdCl}_2/\text{Cu}_2\text{Cl}_2$
- в) $\text{K}_3[\text{Co}(\text{CN})_5]$
- г) $\text{Na}[\text{Co}(\text{CO})_4]$

4. Окисление какого вещества приводит к образованию фенола и ацетона

- а) мезитилен
- б) нафталин
- в) изопропилбензол
- г) бензилметилкетон

5. Кто из ученых получил Нобелевскую премию по химии за разработку метатезиса.

- а) Р. Вудвард
- б) Р. Грабс
- в) Сузуки
- г) Е. О. Фишер

6. Какие продукты образуются при пропускании смеси пропилена с воздухом или кислородом над серебряным катализатором?

- а) пропиловый спирт
- б) уксусная кислота
- в) диэтиловый эфир
- г) оксид пропилена

7. Назовите самую медленную стадию реакции в каталитическом цикле карбонилирования спиртов

- а) внедрение
- б) восстановительное элиминирование
- в) β -элиминирование
- г) окислительное присоединение

8. Какие вещества являются промоторами автоокисления *n*-ксилола до терефталевой кислоты?

- а) иод
- б) BF_3
- в) серная кислота
- г) бромид натрия

9. Комплексы какого металла являются катализаторами бутадиена до циклооктатетраена?

- а) кобальта
- б) никеля
- в) родия
- г) палладия

10. Укажите значения параметра Н/изо в реакции гидроформилирования на модифицированных кобальтовых катализаторах

- а) 1/1
- б) 1/4
- в) 1/8
- г) 1/12

Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|--|
| превосходно | Успешное владение теоретическим материалом, которое позволяет дать все правильные ответы. |
| отлично | Успешное владение теоретическим материалом, которое позволяет дать 9 правильных ответов из 10. |
| очень хорошо | Успешное владение теоретическим материалом, которое позволяет дать 7-8 правильных ответов из 10 |
| хорошо | Успешное владение теоретическим материалом, которое позволяет дать 6 правильных ответов из 10. |
| удовлетворительно | Владение теоретическим материалом, которое позволяет дать 5 правильных ответов из 10 |
| неудовлетворительно | Владения теоретическим материалом на очень низком уровне. Количество правильных ответов менее 5. |
| плохо | Отказ выполнять работу. Работа не сдана или сдан пустой лист. |

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н:

1. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидрирования алкенов при использовании родиевого катализатора Уилкинсона.
2. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидрирования олефинов на ионах цианида кобальта.
3. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидроформилирования при использовании немодифицированных кобальтовых катализаторов.
4. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидроформилирования при использовании кобальтовых катализаторов, модифицированных третичными фосфинами.
5. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидроформилирования при использовании родиевых катализаторов.
6. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции Реппе при использовании карбонила никеля.
7. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции эпоксицирования алкенов с участием молибденсодержащего катализатора.
8. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции окисления алкенов на палладиево-медном катализаторе (Вакер-процесс).
9. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции метатезиса алкенов при использовании карбеновых комплексов переходных металлов.
10. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции метатезиса алкинов при использовании карбеновых комплексов переходных металлов.
11. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции цис-транс-изомеризации алкенов.
12. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции миграции двойной связи в алкенах.

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задания) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н:

1. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции димеризации алкенов на комплексах никеля.
2. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции линейной димеризации олефинов на комплексах кобальта.
3. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции димеризации олефинов на системах, содержащих нуль-валентный палладий.
4. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции циклоолигомеризация диенов.
5. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции циклотримеризации.
6. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции гомогенного гидрирования аренов.
7. Напишите и прокомментируйте реакцию гидрирования алкенов с использованием родиевого катализатора Уилкинсона на примере пропена.
8. Напишите и прокомментируйте реакцию гидрирования активированных алкенов с использованием ионов цианида кобальта на примере акролеина.
9. Напишите и прокомментируйте реакцию гидроформилирования при использовании немодифицированных кобальтовых катализаторов на примере бутена-1.
10. Напишите и прокомментируйте реакцию гидроформилирования при использовании кобальтовых катализаторов, модифицированных третичными фосфинами, на примере пропена.
11. Напишите и прокомментируйте реакцию гидроформилирования при использовании родиевых катализаторов на примере бутена-1.
12. Напишите и прокомментируйте реакцию карбонилирования алкенов при использовании карбонила никеля на примере этилена.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задания)

| Оценка | Критерии оценивания |
|-------------|---|
| превосходно | Успешное владение теоретическим материалом, которое позволяет справиться с выданным заданием и с видоизмененным заданием. Демонстрация высокого уровня самообразования и самоорганизации в условиях учебной деятельности, а также умения находить эффективные пути решения в стандартных учебных ситуациях. Правильное выполнение всех контрольных заданий. |
| отлично | Успешное владение теоретическим материалом, которое позволяет справиться с контрольным заданием на высоком уровне. Демонстрация высокого уровня самообразования и самоорганизации в условиях учебной деятельности. Правильное выполнение всех заданий контрольной работы с |

| Оценка | Критерии оценивания |
|---------------------|--|
| | небольшими недочётам. |
| очень хорошо | Успешное владение теоретическим материалом, которое позволяет справиться с некоторыми контрольными заданиями. Демонстрация высокого уровня самообразования и самоорганизации в условиях учебной деятельности. Выполнение 80% контрольных заданий с незначительными ошибками. |
| хорошо | Владение теоретическим материалом, которое позволяет справиться с некоторыми контрольными заданиями. Демонстрация умения находить эффективные пути решения в стандартных учебных ситуациях. Выполнение 75% контрольных заданий. При решении заданий допускаются существенные ошибки. |
| удовлетворительно | Владение теоретическим материалом, которое позволяет справиться с некоторыми контрольными заданиями. Выполнение 50% контрольных заданий. |
| неудовлетворительно | Отсутствие владения теоретическим материалом. Неправильное выполнение контрольных заданий. Выполнение менее 50% контрольных заданий. |
| плохо | Отказ выполнять работу. Работа не сдана или сдан пустой лист. |

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 | При решении стандартных | Продемонстрированы | Продемонстрированы | Продемонстрированы | Продемонстрированы | Продемонстрированы все |

| | | | | | | | |
|---------------|--|---|---|--|---|--|---|
| | умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа | задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки | основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме | все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами | все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме | 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 некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами | Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов | Продемонстрирован 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 |
| | отлично | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично». |
| | очень хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо» |
| | хорошо | Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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». |
| | плохо | 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 - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-1-н

1. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидрирования алкенов при использовании родиевого катализатора Уилкинсона.
2. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидрирования олефинов на ионах цианида кобальта.
3. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидроформилирования при использовании немодифицированных кобальтовых катализаторов.
4. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидроформилирования при использовании кобальтовых катализаторов, модифицированных третичными фосфинами.
5. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции гидроформилирования при использовании родиевых катализаторов.
6. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции Реппе при использовании карбонила никеля.
7. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции эпоксидирования алкенов с участием молибденсодержащего катализатора.
8. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции окисления алкенов на палладиево-медном катализаторе (Вакер-процесс).
9. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции метатезиса алкенов при использовании карбеновых комплексов переходных металлов.
10. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции метатезиса алкинов при использовании карбеновых комплексов переходных металлов.
11. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции цис-транс-изомеризации алкенов.
12. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции миграции двойной связи в алкенах.
13. Напишите в общем виде и прокомментируйте механизм реакции димеризации алкенов на комплексах никеля.
14. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции линейной димеризации олефинов на комплексах кобальта.
15. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции димеризации олефинов на системах, содержащих нуль-валентный палладий.

16. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции циклоолигомеризация диенов.
17. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции циклотримеризации.
18. Напишите в общем виде и прокомментируйте схему реакции гомогенного гидрирования аренов.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ПК-2-н

1. Напишите и прокомментируйте реакцию гидрирования алкенов с использованием родиевого катализатора Уилкинсона на примере пропена.
2. Напишите и прокомментируйте реакцию гидрирования активированных алкенов с использованием ионов цианида кобальта на примере акролеина.
3. Напишите и прокомментируйте реакцию гидроформилирования при использовании немодифицированных кобальтовых катализаторов на примере бутена-1.
4. Напишите и прокомментируйте реакцию гидроформилирования при использовании кобальтовых катализаторов, модифицированных третичными фосфинами, на примере пропена.
5. Напишите и прокомментируйте реакцию гидроформилирования при использовании родиевых катализаторов на примере бутена-1.
6. Напишите и прокомментируйте реакцию карбонилирования алкенов при использовании карбонила никеля на примере этилена.
7. Напишите и прокомментируйте реакцию эпоксицирования с участием молибденсодержащего катализатора на примере этилена.
8. Напишите и прокомментируйте реакцию окисления алкенов при использовании палладиево-медного катализатора (Вакер-процесс) на примере пропена.
9. Напишите и прокомментируйте реакцию окисления кумола с получением фенола и ацетона.
10. Напишите и прокомментируйте реакцию получения бензойной кислоты на основе бензола.
11. Напишите и прокомментируйте реакцию метатезиса алкенов при использовании карбеновых комплексов переходных металлов на примере пропена-1.
12. Напишите и прокомментируйте реакцию метатезиса алкинов при использовании карбеновых комплексов переходных металлов на примере пропина-1.
13. Напишите и прокомментируйте реакцию димеризации алкенов с использованием комплексов никеля на примере этилена.
14. Напишите и прокомментируйте реакцию линейной димеризации олефинов с использованием комплексов кобальта на примере пропилена.
15. Напишите и прокомментируйте реакцию линейной димеризации олефинов с использованием систем, содержащих нуль-валентный палладий, на примере этилена.

16. Напишите и прокомментируйте реакцию содимеризации этилена и бутадиена.
17. Напишите и прокомментируйте реакцию циклоолигомеризации бутадиена.
18. Напишите и прокомментируйте реакцию гидрирования толуола.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

| Оценка | Критерии оценивания |
|------------|---|
| зачтено | Содержание и оформление отчета полностью соответствует требованиям, указанным ниже |
| не зачтено | Не выполнен хотя бы один пункт из требований, предъявляемых к оформлению отчета, не приведены необходимые химические уравнения, не проведены расчеты, не представлены требуемые графики, диаграммы и рисунки. |

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. Ильичев И. С. Основы физико-химического анализа продуктов нефтепереработки и нефтехимического синтеза : электронный учебно-методический комплекс / Ильичев И. С., Лазарев М. А., Щепалов А. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2010. - 163 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Химия., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730427&idb=0>.
3. Аветисов А. К. Прикладной катализ : учебник / Аветисов А. К., Брук Л. Г. - Санкт-Петербург : Лань, 2020. - 200 с. - Рекомендовано ФУМО в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки «Химия» в качестве учебника для обучающихся по основным образовательным программам высшего образования уровня бакалавриат и магистратура по направлениям подготовки «Химия» и специальности «Фундаментальная и прикладная химия» Допущено ФУМО в сфере высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки «Химические технологии» в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Химическая технология». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции Лань - Химия. - ISBN 978-5-8114-3854-9., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=707734&idb=0>.
4. Эльшенбройх К. Металлоорганическая химия : учебник / Эльшенбройх К. - Москва : Лаборатория знаний, 2021. - 749 с. - ISBN 978-5-93208-543-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=838076&idb=0>.
5. Щербина Ада Эммануиловна. Органическая химия. Основной курс. : Учебник. - Москва : ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2014. - 808 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-985-475-

551-9. - ISBN 978-5-16-006956-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=608929&idb=0>.

6. Щепалов А. А. Тяжелые нефти, газовые гидраты и другие перспективные источники углеводородного сырья : учебно-методическое пособие / Щепалов А. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2012. - 93 с. - Рекомендовано методической комиссией химического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлению подготовки 020100 «Химия» и специальностям 020101 «Химия», 020801 «Экология». - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Химия., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730433&idb=0>.

7. Чоркендорф Иб. Современный катализ и химическая кинетика / пер. с англ. В. И. Ролдугина. - Долгопрудный : Интеллект, 2010. - 504 с. - ISBN 978-5-91559-044-0 : 1308.00., 4 экз.

8. Трифонов А. А. Координационные соединения переходных металлов в гомогенном катализе : электронное учебное пособие / Трифонов А. А. - Нижний Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2010. - 74 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ННГУ им. Н. И. Лобачевского - Химия., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=730342&idb=0>.

9. Рябов Владимир Дмитриевич. Химия нефти и газа : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подгот. дипломир. специалистов 130500 "Нефтегазовое дело". - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Форум : ИНФРА-М, 2014. - 336 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-8199-0567-8 (ИД "Форум") : 389.90., 50 экз.

10. Рябов Владимир Дмитриевич. Химия нефти и газа : Учебное пособие. - 2-е изд. - Москва : Издательский Дом "ФОРУМ", 2014. - 336 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-8199-0567-8. - ISBN 978-5-16-100485-2. - ISBN 978-5-16-009103-7., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=601827&idb=0>.

11. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов : учебник для студентов вузов / под ред. Ю. А. Ершова. - 3-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2002. - 560 с. : ил. - ISBN 5-06-003626-X : 120.00., 12 экз.

Дополнительная литература:

1. Потехин В. М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки / Потехин В. М., Потехин В. В. - 3-е изд., испр. и доп. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 896 с. - Рекомендовано Санкт Петербургским государственным технологическим институтом (технический университет) в качестве учебника для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям: «Химическая технология» (бакалавры), «Химическая технология» (магистры). - Книга из коллекции Лань - Химия. - ISBN 978-5-8114-1662-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=800050&idb=0>.

2. Потехин Вячеслав Матвеевич. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки : учеб. для бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям: "Хим. технология" (бакалавры), "Хим. технология" (магистры). - Изд. 3-е, испр. и доп. - СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2014. - 896 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-1662-2 : 2500.08., 2 экз.

3. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов : учеб. для студентов вузов / под ред. Ю. А. Ершова. - 4-е изд., стер. - М. : Высшая школа, 2003. - 560 с. : ил. - ISBN 5-06-003626-X : 110.55., 1 экз.

4. Зимон Анатолий Давыдович. Физическая химия : учебник для вузов . - М. : Химия, 2000. - 318 с.

- 70.00., 1 экз.

5. Денисов Евгений Тимофеевич. Химическая кинетика : учебник для вузов. - М. : Химия, 2000. - 568 с. : ил. - 182.00., 2 экз.

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

Интернет-ресурсы:

1. Электронно-библиотечная система «КОНСУЛЬТАНТ СТУДЕНТА»
<http://www.studentlibrary.ru>, мобильная версия – <http://m.studentlibrary.ru>
2. Электронно-библиотечная система Znanium.com – www.znaniy.com
3. Фонд образовательных электронных ресурсов ННГУ –
<http://www.unn.ru/books/resources.html>
4. Электронная библиотека материалов по химии химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова – <http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/welcome.html>
5. Обзорные и оригинальные статьи в журналах «Успехи химии», «Нефтехимия», «Прикладная химия», «Химическая технология», «Applied catalysis», «Journal of catalysis» и др.
[Электронные ресурсы - <http://www.sciencedirect.com>, <http://elibrary.ru>, <http://pubs.acs.org/>, <http://www.springer.com/gp/>, <https://webofknowledge.com/>].

Материально-техническое обеспечение дисциплины

Лекции и практические занятия проводятся в специализированных аудиториях факультета и кафедры (417, 415, 127, 127а - 5 корпус), оснащенных мультимедийным оборудованием с доступом в интернет, а также необходимым лабораторным оборудованием. Для самостоятельной подготовки используются компьютеры, расположенные в лабораториях и аудиториях кафедры.

Материально-техническое обеспечение лекционных занятий:

- видеопроектор;
- ноутбук;
- переносной и стационарный экран;
- доска;
- комплект электронных презентаций/слайдов;
- раздаточные материалы для лекций.

Материально-техническое обеспечение лабораторного практикума:

– лаборатории, оснащенные химической посудой, установками для синтеза элементоорганических, органических соединений и высокомолекулярных соединений, ртутными термометрами и реактивами общего и специального назначения, необходимыми для проведения исследования нефти и нефтепродуктов;

– оборудование:

- вытяжные шкафы;
- штативы с лапками и кольцами;
- механические верхнеприводные мешалки;
- сушильный шкаф;
- холодильники;

- вакуумные насосы;
- водоструйные насосы;
- ротационные испарители;
- дистиллятор;
- технические и аналитические весы;
- приборы для определения температур плавления и кипения;
- плитки и колбонагреватели;
- муфельная печь;
- термостаты;
- полупрепаративный жидкостной хроматограф Knauer Smartline 5000 (производитель Knauer, Германия, оснащенный программой для обработки данных);
- газовый хроматограф ЛХМ 80;
- ИК-Фурье-спектрометр (производство ОАО «Люмекс-Сибирь», Россия), оснащенный набором для анализа образцов в КВг, жидкостными кюветами, приставкой внутреннего полного отражения и программой для обработки данных;
- УФ-спектрометр Specord UV (производство Specord, Германия);
- калориметр Setaram DSC-131, оснащенный программой для обработки данных;
- гель-проникающий жидкостный хроматограф Knauer WellChrom (производитель Knauer, Германия), включающий жидкостный насос, термостат колонок, УФ-детектор и рефрактометрический детектор, аналитические колонки на полимеры с ММ=100-108 Да, оснащенный программой для обработки данных;
- ультразвуковой диспергатор УЗД1-0,063/22;
- специализированные термостаты для измерения вязкости нефтепродуктов по ГОСТ 33-2000, вискозиметры ВПЖ-1, ВПЖ-2, ВПЖ-4;
- аппарат для определения термоокислительной стабильности масел АПСМ (производитель «Нефтехимавтоматика», Россия);
- прибор вакуумного фильтрования ПВФ-35/НБ1 (производитель ЗАО «БМТ», Россия) для определения содержания механических примесей по ГОСТ 10577-78;
- прибор для определения температуры вспышки в закрытом тигле ТВЗ-ПХП (Россия) по ГОСТ 6356-75;
- рефрактометры ИРФ - 454Б2М;
- магнитные мешалки BioSan MMS-3000 и другое оборудование.

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): Гришин Иван Дмитриевич, доктор химических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Гришин Дмитрий Федорович, доктор химических наук.

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