

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор
программы развития,
руководитель научно-
исследовательской политики

Г.Н. Суворов

« 25 » мая 2026 г.

МЕХАНИЗМЫ РЕАКЦИЙ В НЕФТЕ- И ГАЗОХИМИИ

Рабочая программа

для обучающихся по научной специальности

1.4.12. Нефтехимия (производственная аспирантура)

форма обучения (очная)

Кремлева Т.А. Механизмы реакций в нефте- и газохимии. Рабочая программа для обучающихся по научной специальности 1.4.12. Нефтехимия (производственная аспирантура), форма обучения (очная). Тюмень, 2026.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями ФГТ для научной специальности 1.4.12. «Нефтехимия» утверждены приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 года № 951.

Рабочая программа дисциплины Механизмы реакций в нефте- и газохимии опубликована на сайте ТюмГУ: [электронный ресурс] / Режим доступа: <https://www.utmn.ru/sveden/education/#>.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Цели курса:

Сформировать у аспирантов целостное представление о механизмах химических реакций, протекающих при переработке углеводородного сырья, научить анализировать и прогнозировать результаты технологических процессов на основе кинетических и термодинамических закономерностей.

Задачи курса:

понимать фундаментальные процессы переработки углеводородов, с учетом их строения и агрегатного состояния;

участвовать в разработке и оптимизации промышленных технологий, каталитических систем;

решать задачи повышения эффективности и экологичности нефте- и газохимических производств.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения данной дисциплины (модуля)

ПК-16 - способность организовывать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области нефте- и газохимии с учетом особенностей сырья и применяемых термических / термокаталитических процессов переработки;

ПК-17 - готовность к изучению нефти и углеводородных газов как природных объектов и важнейших источников химического сырья, а также к разработке процессов их превращения в химические продукты и полупродукты, созданию научных основ производства альтернативных видов топлив;

ПК-18 - способность к разработке и теоретическому обоснованию комплексной переработки нефти и природного газа, с учетом конструкций аппаратов нефтепереработки и нефтехимического синтеза, методов их расчёта, а также умение осуществлять научно-исследовательскую деятельность с использованием современных методов и информационно-коммуникационных технологий.

3. Структура и объем дисциплины

Таблица 1

Вид учебной работы	Всего часов (академические часы)	Часов в семестре (академические часы)
		4
Общий объем зач. ед. час	3	3
	108	108
Из них:		
Часы аудиторной работы (всего):	22	22
Лекции	12	12
Практические занятия	10	10
Лабораторные / практические занятия по подгруппам	0	0
Часы внеаудиторной работы, включая самостоятельную работу обучающегося	50	50
Вид промежуточной аттестации (диф. зачет, кандидатский экзамен, экзамен)	36	дифференцированный зачет 36

4. Система оценивания

Промежуточная аттестация по курсу «Механизмы реакций в нефте- и газохимии» - дифференцированный зачет. Система оценивания для дифференцированного зачёта учитывает уровень освоения теоретических знаний, умение применять их на практике, а

также навыки анализа и интерпретации данных. Оценка выставляется по пятибалльной шкале («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно») на основе совокупности критериев, которые включают результаты проработки теоретических вопросов, практических заданий и активности в течение семестра. Аспиранты получают баллы за посещение и работу на лекциях, за выполнение заданий на практических занятиях и сумма полученных за семестр баллов переводится в оценку, по общепринятой шкале: 91 балл и более – оценка «отлично», 76 – 90 баллов – оценка «хорошо», 61 – 75 балл – оценка «удовлетворительно», 60 баллов и менее – оценка «неудовлетворительно». В случае получения за семестр неудовлетворительной оценки аспирант сдает дифференцированный зачет преподавателю в установленные сроки устно, по билетам. В билет входят два теоретических вопроса из приведенного в программе списка.

5. Содержание дисциплины

5.1. Тематический план дисциплины

Таблица 2

№ п/п	Наименование тем и/или разделов	Объем дисциплины (модуля), час.				
		Всего	Виды аудиторной работы (академические часы)			Иные виды контактной работы
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные/практические занятия по подгруппам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Классификация реакций в нефте- и газохимии	2	2	0	0	0
2.	Кинетика и термодинамика реакций переработки углеводородов	4	2	2	0	0
3.	Свободно-радикальные цепные механизмы	4	2	2	0	0
4.	Ионные механизмы: нуклеофильные и электрофильные	4	2	2	0	0
5.	Каталитические механизмы	4	2	2	0	0
6.	Методы исследования механизмов реакций	4	2	2	0	0
7.	Дифференцированный зачет	36	0	0	0	36
	Итого (часов)	58	12	10	0	36

5.2. Содержание дисциплины по темам

Планы лекционных занятий

Тема 1. Классификация реакций в нефте- и газохимии (2 часа)

Классификация реакций по типам (крекинг, риформинг, гидроочистка и др.). Основные классы углеводородов в сырье и продуктах. Особенности поведения углеводородов различных классов в нефтехимических реакциях. Основные направления переработки углеводородных газов.

Тема 2. Кинетика и термодинамика реакций переработки углеводородов (2 часа)

Энергетические профили нефте- и газохимических реакций: ΔH , E_a . Принцип Ле Шателье и управление равновесием. Расчёты термодинамических параметров реакций. Скорость реакций и факторы, влияющие на неё. Кинетические уравнения для простых и сложных реакций. Методы определения порядка реакции и энергии активации.

Тема 3. Свободно-радикальные цепные механизмы (2 часа)

Понятие механизма химической реакции: Элементарные стадии и интермедиаты (радикалы, ионы, карбены и др.).

Свободно-радикальные механизмы. Свободные радикалы как интермедиаты: образование, устойчивость, реакционная способность. Методы генерирования (химические, термические, радиационные). Газофазные и жидкофазные радикальные реакции (дегидрирование, термический крекинг, пиролиз, полимеризация, галогенирование). Побочные процессы. Особенности технологии. Кинетика радикальных нефтехимических реакций.

Тема 4. Ионные механизмы: нуклеофильные и электрофильные (2 часа)

Ионные механизмы. Карбокатионы (электрофилы) и карбанионы (нуклеофилы) как интермедиаты: образование, устойчивость, реакционная способность. Методы генерирования (диссоциация, добавки нуклеофильных и электрофильных реагентов). Основные типы ионных реакций в нефтехимии: каталитический крекинг, скелетная изомеризация, алкилирование, конденсация, гидролиз, этерификация. Побочные процессы. Особенности технологии. Кислотно-основной катализ в нефтехимических реакциях. Кинетика ионных нефтехимических реакций.

Тема 5. Каталитические механизмы (2 часа)

Гетерогенный катализ. Стадии гетерогенно-каталитической реакции: адсорбция, химическое взаимодействие на поверхности, десорбция. Особенности кинетики гетерогенно-каталитических реакций.

Компактные и нанесенные металлические катализаторы. Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов. Основные гетерогенно-каталитические реакции: гидрирование и дегидрирование на полупроводниковых оксидах и сульфидах, риформинг на бифункциональных катализаторах. Мембранный катализ.

Кислотно-основные катализаторы. Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов. Основные гетерогенно-каталитические реакции кислотно-основного типа: каталитический крекинг, скелетная изомеризация, алкилирование, конденсация, гидролиз, гидратация. Суперкислотные каталитические системы.

Металлокомплексные катализаторы (МКК). Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов. Основные нефтехимические реакции с использованием МКК: селективное гидрирование алкенов и карбонильных соединений, изомеризация алкенов, гидроформилирование, метатезис, Вакер-процесс. Особенности технологии.

Основные механизмы в катализе межфазного переноса.

Тема 6. Методы исследования механизмов реакций (2 часа)

Кинетические методы исследования механизмов реакций. Кинетические уравнения и их связь с механизмами реакций. Основные типы кинетических уравнений для разных видов реакций.

Экспериментальное обнаружение интермедиатов — свободных радикалов и ионов. Спектральные методы: ЭПР, ЯМР, УФ, ИК, масс-спектрометрия.

Использование изотопных и радиоактивных меток.

Планы практических занятий

Тема 1. Кинетика и термодинамика реакций переработки углеводородов (2 часа)

Расчёты термодинамических параметров реакций. Скорость реакций и факторы, влияющие на неё. Кинетические уравнения для простых и сложных реакций. Методы определения порядка реакции и энергии активации.

Тема 2. Свободно-радикальные цепные механизмы (2 часа).

Свободно-радикальные механизмы. Образование, устойчивость и реакционная способность свободных радикалов. Методы генерирования: химические, термические, радиационные. Основные типы газо- и жидкофазных реакций со свободно-радикальным цепным механизмом: дегидрирование, термический крекинг, пиролиз, полимеризация, галогенирование. Побочные процессы.

Тема 3. Ионные механизмы: нуклеофильные и электрофильные (2 часа).

Образование, устойчивость и реакционная способность карбокатионов (электрофилов) и карбанионов (нуклеофилов). Методы генерирования (диссоциация, добавки нуклеофильных и электрофильных реагентов). Основные типы нефтехимических реакций с ионным механизмом: каталитический крекинг, скелетная изомеризация, алкилирование, конденсация, гидролиз, этерификация. Побочные процессы.

Тема 4. Каталитические механизмы (2 час.).

Основные стадии гетерогенно-каталитической реакции: адсорбция, химическое взаимодействие на поверхности, десорбция. Особенности кинетики гетерогенно-каталитических реакций. Основные типы металлических катализаторов. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов. Основные гетерогенно-каталитические реакции: гидрирование и дегидрирование на полупроводниковых оксидах и сульфидах, риформинг на бифункциональных катализаторах.

Основные типы кислотно-основных катализаторов. Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов. Основные гетерогенно-каталитические реакции кислотно-основного типа: каталитический крекинг, скелетная изомеризация, алкилирование, конденсация, гидролиз, гидратация.

Примеры металлокомплексных катализаторов (МКК). Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов. Основные нефтехимические реакции с использованием МКК: селективное гидрирование алкенов и карбонильных соединений, изомеризация алкенов, гидроформилирование, метатезис, Вакер-процесс.

Тема 5. Методы исследования механизмов реакций (2 час.).

Кинетические методы исследования механизмов реакций. Кинетические уравнения и их связь с механизмами реакций. Основные типы кинетических уравнений для разных видов реакций. Экспериментальное обнаружение интермедиатов (свободных радикалов и ионов). Спектральные методы: ЭПР, ЯМР, УФ, ИК, масс-спектрометрия.

Образцы средств для проведения текущего контроля

Оценочное средство 1. Устный опрос

Проводится по теоретическому материалу на практических занятиях. Для подготовки необходимо проработать лекцию и прочитать рекомендуемую литературу по теме. Устный опрос может проводиться в форме индивидуального собеседования или собеседования в малых группах по вопросам.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризовать указанный свободный радикал с точки зрения его строения и устойчивости. Указать возможные способы генерирования.

2. Описать механизм заданной реакции. Указать все элементарные стадии.
3. Описать способы воздействия на кинетику и селективность заданной реакции.
4. Указать побочные продукты в заданной реакции, основываясь на ее механизме.

Вопросы для самоконтроля

1. Охарактеризовать указанный карбокатион (электрофил) или карбанион (нуклеофил) с точки зрения его строения и устойчивости. Указать возможные способы генерирования.

2. Описать механизм заданной реакции. Указать все элементарные стадии.
3. Описать способы воздействия на кинетику и селективность заданной реакции.
4. Указать побочные продукты в заданной реакции, основываясь на ее механизме.

Вопросы для самоконтроля

1. Для заданной гетерогенно-каталитической реакции описать все элементарные стадии и интермедиаты.

2. Описать способы воздействия на кинетику и селективность заданной реакции.
3. Указать побочные продукты в заданной реакции, основываясь на ее механизме.

4. Охарактеризовать влияние структуры носителя на протекание гетерогенно-каталитической реакции.

5. Охарактеризовать влияние размеров и формы частиц активного компонента на протекание гетерогенно-каталитической реакции.

6. Изобразить строение переходного состояния для указанной реакции с участием МКК.

Вопросы для самоконтроля

1. Для заданного механизма составить кинетическое уравнение.
2. Для заданного кинетического уравнения предложить тип механизма.
3. Охарактеризовать возможности одного из спектральных методов в отношении обнаружения интермедиатов определенного типа.

4. По предложенному спектру сделать заключение о типе и строении интермедиата.

Оценочное средство 2. Реферат

Примерная тематика рефератов

1. Интермедиаты: строение и реакционная устойчивость.
2. Типы механизмов: последовательные, параллельные, сопряженные.
3. Механизмы газофазных нефтехимических реакций.
4. Механизмы жидкофазных нефтехимических реакций.
5. Кинетические методы установления механизмов.
6. Экспериментальные методы обнаружения активных интермедиатов.
7. Метод изотопных меток.
8. Метод радиоактивных индикаторов.
9. Способы регулирования скорости и селективности нефтехимических реакций.

6. Учебно-методическое обеспечение и планирование самостоятельной работы обучающихся

Таблица 3

№ темы	Темы	Формы СРС, включая требования к подготовке к занятиям
1.	Классификация реакций в нефте- и газохимии	Работа с литературой, источниками, собеседование.
2.	Кинетика и термодинамика реакций переработки	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование.

	углеводородов	Доклад на семинаре
3.	Свободно-радикальные цепные механизмы	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование.
4.	Ионные механизмы: нуклеофильные и электрофильные	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование. Доклад на семинаре.
5.	Каталитические механизмы	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование.
6.	Методы исследования механизмов реакций	Работа с литературой, источниками, проработка лекций, собеседование. Доклад на семинаре

Чтение обязательной и дополнительной литературы, предусмотренной рабочей программой дисциплины. Контроль – на практическом занятии в устной или письменной форме при обсуждении теоретических вопросов.

Проработка лекций предполагает присутствие обучаемого на лекционных занятиях и конспектирование материала, подготовка презентаций усвоенного лекционного материала. Контроль – на практическом занятии в устной или письменной форме при обсуждении теоретических вопросов.

Критерии оценки самостоятельной работы аспирантов:

качество освоения учебного материала (умение аспиранта использовать теоретические знания при выполнении практических задач);

проработанность всех аспектов задания, оформление материала в соответствии с требованиями, соблюдение установленных сроков представления работы на проверку;

степень самостоятельности, творческой активности, инициативности студентов, наличие элементов новизны в процессе выполнения заданий.

Итоги работы аспирантов подводятся во время контрольных недель, сроки которых определяются графиком учебного процесса.

7. Промежуточная аттестация по дисциплине (модулю)

7.1. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

Форма проведения промежуточной аттестации – дифференцированный зачет. Зачет проводится устно в форме собеседования по прилагаемому ниже примерному перечню вопросов.

Перечень контрольных вопросов для дифференцированного зачета

1. Понятие механизма химической реакции: Элементарные стадии и интермедиаты (радикалы, ионы, карбены и др.).

2. Свободно-радикальные механизмы. Свободные радикалы как интермедиаты: образование, устойчивость, реакционная способность. Методы генерирования (химические, термические, радиационные).

3. Газофазные и жидкофазные радикальные реакции (дегидрирование, термический крекинг, пиролиз, полимеризация, галогенирование).

4. Ионные механизмы. Карбокатионы (электрофилы) и карбанионы (нуклеофилы) как интермедиаты: образование, устойчивость, реакционная способность. Методы генерирования (диссоциация, добавки нуклеофильных и электрофильных реагентов).

5. Основные типы ионных реакций в нефтехимии: каталитический крекинг, скелетная изомеризация, алкилирование, конденсация, гидролиз, этерификация.

6. Гетерогенный катализ. Стадии гетерогенно-каталитической реакции: адсорбция, химическое взаимодействие на поверхности, десорбция.

7. Компактные и нанесенные металлические катализаторы. Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов.

8. Основные гетерогенно-каталитические реакции: гидрирование и дегидрирование на полупроводниковых оксидах и сульфидах, риформинг на бифункциональных катализаторах. Мембранный катализ.

9. Кислотно-основные катализаторы. Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов.

10. Основные гетерогенно-каталитические реакции кислотно-основного типа: каталитический крекинг, скелетная изомеризация, алкилирование, конденсация, гидролиз, гидратация.

11. Металлокомплексные катализаторы (МКК). Характер химического взаимодействия с субстратом. Типы промежуточных взаимодействий и интермедиатов.

12. Основные нефтехимические реакции с использованием МКК: селективное гидрирование алкенов и карбонильных соединений, изомеризация алкенов, гидроформилирование, метатезис, Вакер-процесс. Особенности технологии.

13. Основные механизмы в катализ межфазного переноса.

14. Кинетические методы исследования механизмов реакций. Кинетические уравнения и их связь с механизмами реакций. Основные типы кинетических уравнений для разных видов реакций.

15. Экспериментальное обнаружение интермедиатов — свободных радикалов и ионов. Спектральные методы: ЭПР, ЯМР, УФ, ИК, масс-спектрометрия.

16. Использование изотопных и радиоактивных меток.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

8.1. Основная литература:

Потехин, В. М. Химия и технология углеводородных газов и газового конденсата : учебник для вузов / В. М. Потехин. — 5-е изд., испр. и доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 776 с. — ISBN 978-5-507-50273-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/442070> (дата обращения: 15.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Коткова, Е. П. Современные тенденции развития в нефтепереработке : учебное пособие / Е. П. Коткова. — Томск : ТПУ, 2021. — 97 с. — ISBN 978-5-4387-1007-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/246155> (дата обращения: 15.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

8.2. Дополнительная литература:

Голубева, И. А. Газоперерабатывающие предприятия России : монография / И. А. Голубева, И. В. Мещерин, Е. В. Родина ; под редакцией А. . — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 456 с. — ISBN 978-5-507-52712-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/457472> (дата обращения: 15.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей

8.3. Интернет-ресурсы:

<http://www.nglib.ru/index.jsp> - портал научно-технической информации «Нефть и газ»

2. <http://elibrary.ru/defaultx.asp> - научная электронная библиотека,

3. <http://www.twirpx.com/> - информационно-технический сайт «Все для студента»

4. <http://window.edu.ru/>

5. Oil Gas Journal - www.ogj.com

6. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" – Информационный портал "Студенту вуза" – <http://studentu-vuza.ru/>;

7. Минеральные ресурсы России. Экономика и управление - www.geoinform.ru

8. Нефтегазовая вертикаль - www.ngv.ru

9. Нефть и капитал - www.oilcapital.ru

10. Нефть России. Oil of Russia - www.press.lukoil.ru
11. Нефтяное хозяйство - www.oil-industry.ru

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю):

Лицензионное ПО:

ПО, находящееся в свободном доступе:

пакеты для кинетического моделирования (ChemKin, Aspen Plus);
базы данных по свойствам углеводородов (NIST, PetroData).

10. Технические средства и материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

- Работа с Интернетом
- Работа с информационным порталом МБК ТюмГУ

Учебные аудитории, оснащенные мультимедийным оборудованием, с возможностью демонстрации видео, с выходом в Интернет, позволяющие работать в дистанционном режиме.

11. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям лиц с ограниченными возможностями

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания и консультации.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

12. Методические рекомендации обучающимся по выполнению самостоятельной работы

Регулярное чтение выпусков научных обзорных журналов по нефтехимии (Нефтехимия, Вестник Омского университета, Вестник Томского университета, Известия ВУЗов. Химия и химическая технология, Известия РАН. Серия химическая, Экологическая химия).

Изучение методических материалов по основным курсам «Органическая химия» и «Физические методы исследования» по направлению «Химия» и органическим спецпрактикумам по спектроскопии и хроматографии.

Самостоятельное решение задач по определению механизмов органических реакций.

При проработке лекций рекомендуется обратиться к конспектам лекционного материала (кратко, схематично, последовательно зафиксированным основным положениям, выводам, формулировкам, обобщениям), проверить использованные в лекции термины и понятия с помощью словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь.

Следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе.

Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии.

При чтении обязательной и дополнительной литературы рекомендуется смысловое чтение, аннотирование и конспектирование. При аннотировании рекомендуется отметить те идеи, положения, которые могут быть использованы в собственном диссертационном исследовании. При конспектировании – определить цель, ознакомиться с полным текстом источника, определить его логическую структуру, зафиксировать основное содержание структурных компонентов; также рекомендуется фиксировать собственные вопросы, суждения, умозаключения по содержанию конспектируемого источника.

Кроме обязательной и дополнительной литературы, определенной авторами рабочей программы, рекомендуется самостоятельный поиск и проработка дополнительных источников, в том числе аналитического характера (научные статьи, диссертационные исследования);

Также рекомендуется составить перечень основных понятий и терминов (*гlossарий*) и проанализировать их с использованием словарей (толковые, словари иностранных слов, энциклопедические словари, отраслевые словари и др.), в результате чего должны быть отобраны определения, в наибольшей степени отражающие признаки рассматриваемых явлений.

При подготовке к дифференцированному зачету в форме устного собеседования рекомендуется актуализация и анализ содержания материала лекционных и практических занятий; чтение обязательной и дополнительной литературы; самостоятельный поиск информации по отдельным вопросам с использованием по различных видов источников; также рекомендуется актуализировать содержание и результаты деятельности по освоению научного компонента ОП, содержание дискуссий на посещенных аспирантом конференциях, семинарах и иных мероприятиях.