

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 № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Радикальные процессы в нефтехимическом и органическом синтезе

---

Уровень высшего образования

Магистратура

---

Направление подготовки / специальность

04.04.01 – Химия

---

Направленность образовательной программы

Нефтехимия

Форма обучения

очная, очно-заочная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Радикальные процессы в нефтехимическом и органическом синтезе» относится к дисциплинам вариативной части профессионального (специального) цикла обязательных дисциплин основной образовательной программы по специальности 04.04.01 – «Химия» (Б1.В.03.05).

Данный курс химии тесно связан с отдельными главами дисциплин «Химия нефти», «Неорганическая химия», «Органическая химия», «Высокомолекулярные соединения» и «Физическая химия». Он способствует формированию целостной картины восприятия всего блока органических дисциплин, изучаемых студентами химического факультета, и дает необходимые представления о путях и методах практического применения радикальных процессов в нефтехимии и органическом синтезе.

**Целями освоения дисциплины «Радикальные процессы в нефтехимическом и органическом синтезе»** является формирование отчетливого представления о закономерностях протекания процессов с участием органических радикалов, их строения и применения в синтетической органической химии, нефтехимии и современной химии полимеров.

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

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	
<b>ПК-1-н.</b> Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области нефтехимии, и/или смежных с химией наук	<b>ПК-1-н-2.</b> Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	<i>Знать</i> основные закономерности протекания радикальных реакций и их применения в органическом и нефтехимическом синтезе <i>Уметь</i> правильно представлять в виде химических формул и уравнений реакций процессы, которые происходят с углеводородами нефти и их производными в результате радикальных превращений <i>Владеть</i> теоретическими знаниями в области электронного и пространственного строения радикалов	Устный опрос, контрольная работа, экзамен
<b>ПК-2-н.</b> Способен проводить информационные исследования в области нефтехимии и/или смежных с химией наук	<b>ПК-2-н-2.</b> Анализирует и обобщает результаты поиска по тематике проекта в области нефтехимии и/или смежных с химией наук	<i>Знать</i> основные источники информации и базы данных по радикальным реакциям и их применению в синтезах <i>Уметь</i> применять имеющуюся научную информацию для анализа реакционной способности свободных радикалов и их применения в синтезах <i>Владеть</i> приемами анализа информации в области строения и реакционной способности радикальных частиц	Устный опрос, контрольная работа, экзамен
<b>ПК-3-н.</b> Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их	<b>ПК-3-н-2.</b> Определяет возможные направления развития работ и	<i>Знать</i> основные закономерности протекания и практического применения радикальных процессов в нефтехимическом синтезе <i>Уметь</i> анализировать вероятность протекания радикальных реакций с участием	Устный опрос, контрольная работа, экзамен

практического применения и продолжения работ в области нефтехимии и/или смежных с химией наук	перспективы практического применения полученных результатов	углеводородов нефти и их производных, а также оценивать перспективы их практического применения <i>Владеть</i> навыками критического анализа результатов исследования продуктов радикальных процессов	
---	---	--	--

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

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

Трудоемкость дисциплины	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>6 ЗЕТ</b>	
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>216</b>	
<b>в том числе</b>		
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>		
- занятия лекционного типа;	<b>36</b>	<b>36</b>
- занятия практического типа;	<b>16</b>	<b>18</b>
- КСР ИФ	<b>2</b>	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>108</b>	<b>124</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>54</b>	<b>36</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)		в том числе									
			контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них								Самостоятельная работа обучающегося, часы	
			Занятия лекционного типа		Занятия практического типа		Контроль самостоятельной работы		Всего			
	0ч	0-3	0ч	0-3	0ч	0-3	0ч	0-3	0ч	0-3	0ч	0-3
Раздел 1. Исторический очерк открытия свободных радикалов	11	11	2	2					2	2	9	9
Раздел 2. Электронное и пространственное строение, стабильность и реакционная способность радикалов	15	18	4	4	2	2			6	6	9	12
Раздел 3. Основные методы	15	18	4	4	2	2			6	6	9	12

генерирования свободных радикалов												
<i>Раздел 4. Методы исследования радикальных частиц и реакций с их участием</i>	17	20	4	4	2	2	2	2	8	8	9	12
<i>Раздел 5. Особенности радикальных процессов в жидкой фазе</i>	15	15	4	4	2	2			6	6	9	9
<i>Раздел 6. Мономолекулярные реакции свободных радикалов</i>	11	11	2	2					2	2	9	9
<i>Раздел 7. Бимолекулярные радикальные реакции с участием свободных радикалов</i>	11	13	2	2		2			2	4	9	9
<i>Раздел 8. Одноэлектронный перенос и окислительно-восстановительные реакции с участием свободных радикалов</i>	13	13	2	2	2	2			4	4	9	9
<i>Раздел 9. Цепные радикальные процессы</i>	11	11	2	2					2	2	9	9
<i>Раздел 10. Радикальные процессы в нефтехимии и нефтехимическом синтезе</i>	13	20	2	2	2	2			4	4	9	16
<i>Раздел 11. Анион-радикалы и бирадикалы. Строение и реакционная способность</i>	13	13	2	2	2	2			4	4	9	9
<i>Раздел 12. Методы контроля и управления радикальными процессами</i>	17	17	6	6	2	2			8	8	9	9
<b>Промежуточная аттестация – Экзамен</b>	<b>54</b>	<b>36</b>										
<b>Итого</b>	<b>216</b>	<b>216</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>54</b>	<b>56</b>	<b>108</b>	<b>124</b>

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках практических занятий. Промежуточный контроль осуществляется при проведении экзамена.

### 3.2.1. Детализированное содержание основных разделов дисциплины

*Исторический очерк открытия свободных радикалов.*

Классификация свободных радикалов. Пространственная структура радикалов. Энергия диссоциации связей и энтальпия образования радикалов. Стабильность и реакционная способность радикалов, связь со строением. Основные методы получения свободных радикалов.

*Инициаторы свободно-радикальных процессов.* Согласованный и несогласованный гомолитический распад связей. Влияние среды на мономолекулярный распад. Кинетика радикального распада. Цепной радикальный распад. Бимолекулярные реакции генерирования радикалов. Окислительно-восстановительные процессы как источники свободных радикалов. Фотохимическое, радиационно-химическое и электрохимическое генерирование радикальных реакций.

*Особенности радикальных реакций в жидкой фазе.* Кинетическая теория жидкости. Клеточный эффект. Влияние давления на протекание радикальных реакций.

*Мономолекулярные реакции свободных радикалов.* Изомеризация с отрывом атома водорода, изомеризация с миграцией группы, изомеризация с раскрытием цикла и циклизацией, изомеризация непредельных соединений. Распад свободных радикалов. Метод конкурирующих реакций. Реакции отрыва с участием свободных радикалов. Реакции радикального замещения.

*Одноэлектронный перенос* и окислительно-восстановительные реакции с образованием и участием свободных радикалов. Взаимосвязь гомолитических и гетеролитических процессов.

*Цепные неразветвленные реакции.* Элементарные стадии цепных неразветвленных реакций (зарождение, продолжение и обрыв цепей). Кинетические закономерности цепной нерадикальной реакции.

*Реакции присоединения* с участием свободных радикалов. Радикальная полимеризация. Механизм и кинетика радикальной полимеризации. Передача цепи. Кинетика ингибированной полимеризации. Ингибиторы радикальных процессов.

*Ингибиторы радикальных процессов.* Их классификация, механизм ингибирования. Многократный обрыв цепей на ингибиторах окисления. Синергизм действия ингибиторов. Биоантиоксиданты.

*Крекинг углеводородов.* Теория Райса. Основные элементарные стадии крекинга. Особенности крекинга углеводородов различного строения. Основные закономерности распада углеродцентрированных радикалов в условиях крекинга. Бимолекулярные реакции в условиях крекинга. Участие растворителя в бимолекулярных реакциях радикалов. Висбрекинг.

*Характеристика цепных разветвленных радикальных процессов.* Радикальные реакции с энергетическим разветвлением цепи. Лазеры на основе разветвленных радикальных процессов.

*Анион-радикалы. Особенности строения и свойства. Бирадикалы* и реакции с их участием.

*Методы контроля* радикальных реакций. Управление реакционной способностью радикалов. Радикальные процессы в органическом синтезе и синтезе полимеров. Контролируемый синтез полимеров с участием радикалов.

### **3.2. 2. Практические занятия по курсу**

Тема: Электронное и пространственное строение, стабильность и реакционная способность

Тема: Основные методы генерирования свободных радикалов

Тема: Методы исследования радикалов и реакций с их участием

Тема: Радикальные реакции в жидкой фазе: особенности протекания

Тема: Одноэлектронный перенос и окислительно-восстановительные реакции с участием свободных радикалов

Тема: Цепные радикальные реакции

Тема: Анион-радикалы и катион-радикалы

Тема: Радикальные процессы в нефтехимии и нефтехимическом синтезе

Тема: Методы контроля радикальными процессами

## **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 собеседованию и контрольным работам.

К формам текущего контроля успеваемости дисциплины относится следующее:

- Еженедельный устный опрос с оценкой;
- Контрольные работы.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме **письменного экзамена**.

К экзамену допускаются обучающиеся, успешно выполнившие учебный план.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 6.2.

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

включающий:

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

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 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок	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 незначительными 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы творческий подход к решению нестандартных

	обучающего- ся от ответа	ошибки.	недочетами				задач
--	-----------------------------	---------	------------	--	--	--	-------

При изучении дисциплины «Радикальные реакции углеводородов и их производных» студенты получают следующие знания, умения и владения в рамках освоения компетенций **ПК-1-н, ПК-2-н, ПК-3-н.**

**ПК-1-н.** Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области нефтехимии, и/или смежных с химией наук;

**ПК-2-н.** Способен проводить информационные исследования в области нефтехимии и/или смежных с химией наук;

**ПК-3-н.** Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области нефтехимии и/или смежных с химией наук.

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

- 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 письменной форме в виде ответа обучающегося на теоретические вопросы курса, решении практических задач и последующим собеседованием в рамках тематики курса. В ходе собеседования рассматриваются ошибки, допущенные студентом при ответах на вопросы экзаменационного билета.

#### Шкала оценки при промежуточной аттестации на письменном экзамене

Оценка		Уровень подготовки
зачтен	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»

Самостоятельная работа обучающегося заключается в подготовке студента к выполнению лабораторных работ и практических занятий, а также включает работу с рекомендуемой литературой с использованием Internet-ресурсов, подготовку к сдаче экзамена по контрольным вопросам. Средствами для текущего контроля успеваемости

являются сдача допусков к лабораторным работам и отчеты по ним, а также активность на практических занятиях. Отчеты по лабораторным работам представляют собой документ о работе студента в течение семестра. Наличие отчетов, прочитанных и подписанных преподавателем, ведущим лабораторные занятия, является необходимым условием допуска к сдаче экзамена по дисциплине. Отчеты являются одним из эффективных методов изучения материала, поскольку в процессе его написания студент детально и вдумчиво анализирует теоретический и практический материал, связанный с работой, формулирует выводы о результатах проведенного эксперимента, что способствует лучшему усвоению материала, а также развивает у студентов внимание и наблюдательность.

По итогам изучения дисциплины предусмотрен зачет и экзамен в качестве средства аттестации студентов.

К формам текущего контроля успеваемости дисциплины относится следующее:

- Еженедельный устный опрос с оценкой;
- Контрольные работы.

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме **письменного экзамена**.

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

### **5.2.1 Контрольные вопросы**

Вопрос	Код компетенции
Понятие о свободных радикалах	ПК-2-н
Состояние гибридизации атома углерода в свободных радикалах	ПК-1-н
Электронное и пространственное строение радикальных частиц	ПК-1-н
Основные методы получения свободных радикалов	ПК-3-н
Понятие о «стабильности» свободных радикалов	ПК-1-н
Основные классы стабильных радикалов	ПК-2-н
Основные механизмы распада инициаторов	ПК-1-н
Реакции свободных радикалов. Взаимосвязь стабильности и реакционной способности	ПК-3-н
Окислительно-восстановительные реакции как источники свободных радикалов	ПК-3-н
Клеточный эффект в реакциях свободных радикалов	ПК-1-н
Химическая поляризация ядер	ПК-1-н
Теория радикальных пар	
Реакции рекомбинации и диспропорционирования для различного типа радикалов	ПК-3-н
Крекинг углеводородов. Основные стадии процесса	ПК-2-н
Мономолекулярные реакции распада и изомеризации свободных радикалов (на примере углеводородных)	ПК-1-н
Бимолекулярные реакции атомов и свободных радикалов (присоединение, отщепление, рекомбинации и диспропорционирования)	ПК-1-н
Реакции свободно-радикального замещения	ПК-1-н
Реакции изомеризации радикалов различного строения (углерод- и кислородцентрированных, с циклизацией и раскрытием цикла с миграцией группы)	ПК-2-н
Реакции с участием бирадикалов	ПК-1-н
Цепные радикальные реакции. Особенности их протекания	ПК-2-н



Элементарные стадии цепных радикальных реакций	ПК-2-н
Цепные разветвленные реакции	ПК-2-н
Одноэлектронный перенос как элементарный акт формально гетеролитических реакций	ПК-1-н
Реакции электрофильного и нуклеофильного замещения с позиций одноэлектронного переноса	ПК-2-н
Одноэлектронный перенос в реакциях металлоорганических соединений	ПК-2-н
Ингибиторы свободно-радикальных процессов	ПК-3-н
Физико-химические методы исследования радикальных частиц и процессов с их участием	ПК-3-н
Радикальные реакции окисления углеводов и их производных	ПК-3-н
Радикальные реакции в биохимических процессах	ПК-3-н
Синтез полимеров в условиях радикального инициирования	ПК-3-н

**5.2.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций ПК-1-н, ПК-2-н и ПК-3-н.**

*Примерный перечень заданий (контрольные работы по отдельным разделам курса) для оценки сформированности указанных выше компетенций:*

**Примерный вариант контрольной работы №1**

1. Дайте определение свободного радикала? (ПК-2-н)
2. Приведите пример  $\pi$ - и  $\sigma$ -радикала. В чем их отличие? (ПК-2-н)
3. Приведите пример стабильного нитроксильного и феноксильного радикалов. Чем обусловлена их стабильность? (ПК-2-н)
4. Рассмотрите реакции свободных радикалов на примере изобутильного (ПК-3-н)
5. Рассмотрите каскадный распад пероксидов на примере пероксида бензоила (ПК-3-н)
6. Рассмотрите распад несимметричных азосоединений (ПК-3-н)
7. Что такое распад с хемирическим взаимодействием (приведите пример) (ПК-1-н)
8. Влияние давления на гомолитический распад молекул (ПК-1-н)
9. Основные методы исследования кинетики радикальных реакций (ПК-1-н)

**Примерный вариант контрольной работы №2**

1. Дайте определение «клетки» в радикальных реакциях. Приведите ее характеристики (ПК-2-н)
2. Сравните одновременный распад двух инициаторов в газовой и жидкой фазе (ПК-3-н)
3. Дайте определение химической поляризации ядер. На чем основано это явление? (ПК-2-н)
4. Рассмотрите типы радикальных пар (ПК-2-н)
5. Рассмотрите реакции свободных радикалов на примере трет-бутильного радикала (ПК-3-н)
6. Рассмотрите рекомбинацию радикалов на примере дифениламинильного радикала (ПК-3-н)
7. Рассмотрите радикальный распад тетраоксида  $R_2CHOOOOCHR_2$  (ПК-1-н)
8. Рассмотрите рекомбинацию двух феноксильных радикалов (ПК-1-н)
9. Рассмотрите распад циклогексильного радикала (ПК-1-н)

**Примерный вариант контрольной работы №3**

1. Сформулируйте основные принципы (особенности) протекания цепных радикальных процессов (ПК-1-н)

2. Приведите пример цепной неразветвленной радикальной реакции (ПК-1-н)
3. Приведите пример цепной разветвленной радикальной реакции (ПК-1-н)
4. Дайте определение одноэлектронного переноса в химии и приведите пример реакции (ПК-2-н)
5. Рассмотрите реакцию Вюрца с позиций одноэлектронного переноса (ПК-2-н)
6. Нуклеофильное замещение с позиций одноэлектронного переноса (ПК-2-н)
7. Рассмотрите термический крекинг толуола (ПК-3-н)
8. Рассмотрите термический крекинг 2,7-диметилоттана (ПК-3-н)
9. Сравните реакции атомарного и молекулярного кислорода с циклогексаном (ПК-3-н)

#### **Примерный вариант контрольной работы №4**

1. Рассмотрите реакцию трет-бутилпероксирадикала с этиленом и ее продукты (ПК-3-н)
2. Приведите основные схемы зарождения цепи в реакциях окисления углеводородов (ПК-3-н)
3. Рассмотрите основные реакции превращения гидропероксидов в процессе окисления углеводородов (ПК-1-н)
4. Рассмотрите распад гидропероксида третичного бутила в присутствии ионов переходного металла (ПК-2-н)
5. Приведите пример цепной неразветвленной радикальной реакции (ПК-1-н)
6. Приведите пример цепной разветвленной радикальной реакции (ПК-1-н)
7. Рассмотрите бимолекулярную реакцию метильного радикала с метиламином (ПК-2-н)
8. Рассмотрите основные методы контроля радикальных процессов (ПК-3-н)
9. Рассмотрите основные способы получения карбена как бирадикала (ПК-2-н)

#### ***Примерный перечень рефератов для проверки компетенций по компетенциям ПК-1-н, ПК-2-н и ПК-3-н:***

1. История становления понятия «свободный радикал» в органической химии;
2. Элементарные стадии радикальных процессов в процессах органической химии и нефтехимии;
3. Радикальные процессы в синтезе полимеров;
4. Стабильные радикалы и их применение в нефтехимическом синтезе;
5. Практическое применение цепных радикальных реакций и процессов;
6. Применение радикальных процессов окисления в синтезе функциональных производных углеводородов.

#### ***Перечень примерных вопросов для экзамена:***

1. Свободные радикалы, состояние гибридизации, электронное и пространственное строение
2. Основные методы получения свободных радикалов
3. Понятие о «стабильности» свободных радикалов. Основные классы стабильных радикалов
4. Основные механизмы распада инициаторов
5. Реакции свободных радикалов. Взаимосвязь стабильности и реакционной способности
6. Окислительно-восстановительные реакции как источники свободных радикалов
7. Клеточный эффект в реакциях свободных радикалов
8. Химическая поляризация ядер. Теория радикальных пар
9. Реакции рекомбинации и диспропорционирования для различного типа радикалов
10. Крекинг углеводородов. Основные стадии процесса

11. Мономолекулярные реакции распада и изомеризации свободных радикалов (на примере углеводов)
12. Бимолекулярные реакции атомов и свободных радикалов (присоединение, отщепление, рекомбинации и диспропорционирования)
13. Реакции свободно-радикального замещения
14. Реакции изомеризации радикалов различного строения (углерод- и кислородцентрированных, с циклизацией и раскрытием цикла с миграцией группы)
15. Реакции с участием бирадикалов
16. Цепные радикальные реакции. Особенности их протекания
17. Элементарные стадии цепных радикальных реакций
18. Цепные разветвленные реакции
19. Одноэлектронный перенос как элементарный акт формально гетеролитических реакций
20. Реакции электрофильного и нуклеофильного замещения с позиций одноэлектронного переноса
21. Одноэлектронный перенос в реакциях металлоорганических соединений
22. Радикальные реакции окисления углеводов и их производных
23. Ингибиторы свободно-радикальных процессов
24. Радикальные реакции в биохимических процессах

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

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

### **а) основная литература:**

1. В.Д.Рябов. Химия нефти и газа. М., Техника, 2014.
2. Ю.С. Шабаров. Органическая химия. [Электронный ресурс]. - 5-е изд., стер. - Санкт-Петербург: Лань, 2011. - 848 с. Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php.pl1\\_cid=25&pl1\\_id=4037](http://e.lanbook.com/books/element.php.pl1_cid=25&pl1_id=4037)
3. А.Э. Щербина, Л.Г. Матусевич. Органическая химия: Учебник [Электронный ресурс]. / Под ред. А.Э. Щербины. - М.: НИЦ ИНФРА-М; Мн.: Нов. знание, 2013. - 808 с. - Режим доступа: <http://znanium.com/bookread.php/book=415732>
4. Е.М.Плис, Е.Т.Денисов. Кинетика гомолитических жидкофазных реакций. Ярославль: ЯрГУ, 2015. – 312 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия: В 4 ч.: Ч.: 1: Учебное пособие для вузов. - М.: Бином, 2013.- 567 с.
2. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия: В 4 ч.: Ч.: 2: Учебное пособие для вузов.- М.: Бином, 2013.- 623 с.

### **в) интернет-ресурсы, отражающие состояние развития данного направления в науке, соответствующее теме дисциплины:**

1. Аналитические статьи о современном состоянии отечественной и зарубежной нефтехимии и основах нефтепереработки [Электронный ресурс]: <http://www.newchemistry.ru>
2. Описание основных процессов нефтепереработки [Электронный ресурс]: <http://chemistry.narod.ru/razdeli/neftechemistry/neftechemistry.htm>.  
Режим доступа: [http://e.lanbook.com/books/element.php.pl1\\_cid=25&pl1\\_id=4037](http://e.lanbook.com/books/element.php.pl1_cid=25&pl1_id=4037).  
Ресурс: <http://www.lib.unn.ru>

### **г) рекомендованная литература:**

Для подготовки студентов к практическим занятиям и самостоятельному изучению материала рекомендуются методические пособия и разработки кафедры:

1. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. Контролируемый синтез функциональных полимеров в условиях радикального инициирования и металлокомплексного катализа: Учебно-методическое пособие. Н.Новгород: ННГУ, 2011, 50с.

2. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. Современные методы контролируемой радикальной полимеризации для получения новых материалов с заданными свойствами. Электронное учебное пособие. Нижний Новгород. Издательство ННГУ. - 2010. – 48 с. [http://www.unn.ru/books/met\\_files/Grishin.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/Grishin.pdf)

3. Гришин Д.Ф., Гришин И.Д. Современные тенденции контролируемого синтеза функциональных полимеров: фундаментальные аспекты и практическое применение // Успехи химии. 2021. Т. 90. № 2. С.231-264. <https://doi.org/10.1070/RCR4964>

Кроме того, 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 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):**

Для проведения лекционных и практических занятий используются специализированные аудитории, видеопроектор, ноутбук, экран, доска, мел и др..

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по направлению подготовки 04.04.01 «Химия».

Автор:

д.х.н., профессор, член-корреспондент РАН \_\_\_\_\_ Гришин Д.Ф.

Заведующий кафедрой химии нефти (нефтехимического синтеза),

д.х.н., профессор, член-корреспондент РАН \_\_\_\_\_ Гришин Д.Ф.

Программа одобрена на заседании методической комиссии химического факультета от 11.11.2022 года, протокол № 2.