

**Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет)  
имени И.М. Губкина**

---

**Утверждена проректором по  
научной и международной работе  
проф. А.Ф. Максименко  
14 апреля 2022 года**

**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания по научной специальности**

**1.4.12. «Нефтехимия»**

**для поступающих в аспирантуру РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
в 2022/2023 уч. году**

**Москва 2022**

## **Введение**

Программа соответствует основным направлениям научной специальности 1.4.12. «Нефтехимия» и отражает вопросы, входящие в паспорт специальности.

### **1. Химический состав и свойства нефти**

Происхождение нефти. Генезис и химическая эволюция нефтей. Органическая теория происхождения нефти. Процесс нефтеобразования и химический состав нефти. Биомаркеры. Минеральная теория происхождения нефти.

Состав, свойства и классификация нефтей. Физические свойства нефтей. Химический состав нефти. Фракционный состав нефти. Элементный, индивидуальный и структурно-групповой состав нефти. Классификация нефтей.

Методы исследования нефтей. Физические и физико-химические методы. Ректификация. Хроматографические методы. Термическая диффузия. Оптическая спектроскопия в анализе углеводородных и гетероатомных соединений. Спектры комбинационного рассеяния. Молекулярная масс- и хроматомасс-спектрометрия. Ядерный магнитный резонанс.

Исторический обзор исследований по химии углеводородов нефти. Работы Д.И.Менделеева, В.В.Марковникова, Д.П.Коновалова, Н.Д.Зелинского, С.С.Наметкина, Б.А.Казанского, А.В.Топчиева и др.

Нефтяные углеводороды ряда метана (парафины). Физические и химические свойства парафинов нормального и разветвленного строения. Газообразные парафины. Природный газ. Жидкие и твердые парафины. Парафин и церезин. Изопрены нефти.

Нафтены (циклические углеводороды нефти). Углеводороды ряда циклопентана и циклогексана. Их содержание в нефтях. Важнейшие реакции. Синтез модельных углеводородов. Бициклические углеводороды нефти. Конденсированные и мостиковые би- и полициклические углеводороды. Адамантан и его гомологи. Тритерпаны, стераны, гопаны. Термодинамическая устойчивость цикланов. Конформационный анализ циклических углеводородов.

Ароматические углеводороды нефти. Типы ароматических углеводородов нефти и их определение в нефтях.

Гетероатомные соединения нефти. Характеристика сернистых соединений и их определение в нефтях. Перспективы их практического использования. Содержание серы в различных нефтях и нефтепродуктах. Азотистые соединения: основные типы, их характеристики и определение в нефтях. Кислородные соединения нефти. Нефтяные кислоты: характеристика и содержание в нефтях. Смолистые и асфальтеновые компоненты нефти. Разделение и характеристика. Металлосодержащие соединения нефти. Порфирины. Микроэлементы.

### **2. Нефтеперерабатывающая и газоперерабатывающая промышленность, как источник производства основных видов нефтехимического сырья, жидких топлив и масел**

Промышленные процессы первичной переработки нефти и газа. Электрообессоливание и первичная перегонка нефти. Сырье, характеристика стандартных нефтей, технология переработки и основные продукты. Типовые схемы нефтеперерабатывающих заводов. Переработка природного газа и газовых конденсатов. Переработка попутного газа.

Каталитический крекинг. Сырье и его подготовка. Основные технологические параметры процесса. Катализаторы крекинга, строение алюмосиликатов и природа их каталитической активности. Роль протонной и апротонной кислотности. Цеолиты. Механизм реакций каталитического крекинга для углеводородов разных классов. Продукты крекинга.

Каталитический риформинг. Сырье и его подготовка. Основные технологические параметры процесса. Катализаторы риформинга. Химизм и механизм каталитического превращения нафтеновых, парафиновых и ароматических углеводородов. Продукты риформинга.

Гидрогенизационные процессы в нефтепереработке. Основное назначение, катализаторы. Химизм и механизм гидрогенизационных процессов: гидроочистка моторных топлив, смазочных масел, парафинов, вакуумных дистиллятов и вторичных газойлей; гидрокрекинг нефтяных остатков; гидроизодепарафинизация дизельных топлив и масел.

Термический крекинг и пиролиз. Термодинамика и кинетика распада углеводородов различных рядов и молекулярной массы. Свободно-радикальный механизм термического крекинга углеводородов. Получение светлых нефтепродуктов термическим разложением остаточных фракций, улучшение качества котельного топлива, получение термогазойля и нефтяного кокса. Пиролиз нефтяных фракций и газового сырья для производства низших олефинов и ароматических углеводородов. Пиролиз метана и других углеводородов для получения ацетилена. Регенеративный, гомогенный и окислительный пиролиз. Состав газов пиролиза и их разделение.

Производство парафинов. Производство жидких парафинов депарафинизацией дизельных фракций. Низкотемпературная депарафинизация масляных фракций для получения твердых парафинов. Характеристика парафинов и церизинов.

Производство оксида углерода и синтез-газа. Каталитическая конверсия метана и других углеводородов. Научные основы процесса и технологические параметры. Окислительная конверсия. Высокотемпературная окислительная конверсия углеводородов в отсутствие катализаторов. Очистка синтез-газа, получение концентрированного оксида углерода и водорода.

Нефтяные топлива. Общая характеристика основных видов топлива (автомобильное, дизельное, авиационное, реактивное, котельное и др.). Влияние углеводородного состава топлив на их эксплуатационные характеристики. Поведение и превращения углеводородов при сгорании в двигателях. Октановое число. Цетановое число.. Улучшение эксплуатационных свойств топлив с помощью присадок и добавок.

Нефтяные масла. Смазочные масла и их основные характеристики. Взаимосвязь между углеводородным составом и эксплуатационными свойствами минеральных масел. Присадки к смазочным маслам (антиокислители, депрессоры, моющие, вязкостные, противоизносные и др.), механизм их действия. Многофункциональные присадки.

Проблема замены нефтяного сырья в производстве жидких топлив и масел. Ограниченность и невозпроизводимость нефтяных ресурсов. Возможности и перспективы использования углей, торфа, горючих и битуминозных сланцев, растительного сырья для производства искусственного жидкого топлива. Понятие синтетическая нефть.

### **3. Нефтехимия как область современной химической науки**

История развития нефтехимии, современное состояние, научные задачи, перспективы развития. Классификация химических производств. Структура химического производства. Создание высокоэффективных, малоотходных химических производств для получения

необходимого ассортимента продуктов и изделий высокого качества на основе максимального использования сырья и топливно-энергетических ресурсов, комбинирования, совмещения и автоматизации производств.

#### **4. Сырьевая база нефтехимической промышленности**

Сырьевые источники химического производства. Характеристика и классификация сырья и вспомогательных материалов по прохождению, агрегатному состоянию, химической природе. Возобновляемые и невозобновляемые источники сырья. Отходы производства как источник вторичных материальных ресурсов. Перспективные и альтернативные источники сырья.

Экологические проблемы нефтехимических производств и пути их решения.

Производство насыщенных (парафиновых) углеводородов. Источники газообразных, жидких и твердых парафиновых углеводородов, современные методы их выделения и направления использования.

Методы производства ненасыщенных углеводородов. Источники газообразных и жидких олефинов, основные современные методы их получения (деструктивные процессы нефтепереработки, пиролиз, дегидрирование, олигомеризация) и направления использования. Основные особенности технологического оформления процессов производства олефиновых углеводородов. Объемы производства важнейших газообразных олефинов в России и за рубежом, перспективы расширения их производства и применения.

Производство ароматических углеводородов. Современное состояние и перспективы развития производства и потребления ароматических углеводородов в России и за рубежом. Источники ароматических углеводородов (жидкие продукты пиролиза, коксования, риформинга). Методы выделения и разделения ароматических углеводородов.

Комплекс «Ароматика» - поточная схема. Характеристика (химизм, условия, особенности технологии) процессов, входящих в комплекс «Ароматика» (каталитическое диспропорционирование, термическое гидродеалкилирование, изомеризация, селективная экстракция, адсорбционное разделение).

Алкилирование ароматических углеводородов. Теоретические основы, химизм, алкилирующие агенты, катализаторы, условия процесса. Особенности технологического оформления процесса алкилирования бензола олефинами на различных катализаторах ( $AlCl_3$ ,  $H_3PO_4$ /кизельгур, цеолиты).

Производство кислородсодержащих продуктов окислением ненасыщенных углеводородов. Особенности окисления ненасыщенных углеводородов. Катализаторы окисления.

Производство этиленоксида. Основные и побочные реакции, условия процесса, аппаратное оформление, технологическая схема производства. Области применения этиленоксида.

Методы производства пропиленоксида (хлоргидринный, эпоксирирование пропилена надкислотами, окисление пропилена молекулярным кислородом, сопряженное окисление, окисление пропилена пероксидами углеводородов). Химизм и условия процессов, особенности технологического и аппаратного оформления.

Производство карбонильных соединений. Химизм, механизм, условия процессов. Особенности технологического и аппаратного оформления. Производство ацетальдегида, ацетона и метилэтилкетона.

Методы производство акрилонитрила. Окислительный аммонолиз пропилена (основные и побочные реакции, условия процессов, технологическое и аппаратурное оформление).

## **5. Основные процессы промышленной переработки нефтехимического сырья**

Процессы галогенирования. Научные основы процессов галогенирования парафинов, олефинов, ацетилена, ароматических и алкилароматических углеводородов. Заместительное и присоединительное хлорирование. Галогенирующие агенты, катализаторы и инициаторы, условия галогенирования. Термическое, фотохимическое и окислительное галогенирование и механизм этих реакций. Гидрохлорирование олефинов и ацетилена. Получение хлорметанов, хлорэтанов, аллилхлорида, хлорбутенов, хлорпарафинов, винилхлорида, хлор- и полихлорбензолов.

Гидратация олефинов и ацетилена. Термодинамика, катализаторы и механизмы реакций гидратации. Синтез этанола, изопропанола, втор- и трет-бутанолов, ацетальдегида.

Процессы алкилирования. Алкилирование олефинами ароматических углеводородов. Катализаторы, механизм и кинетика реакции. Получение этил-, диэтил- и изопропилбензолов. Алкилирование бензола высшими олефинами. Алкилароматические пластификаторы, смазочные масла, присадки и сырье для поверхностно-активных веществ. Алкилирование фенолов, производство стабилизаторов полимеров и масел. Алкилирование парафинов, катализаторы и механизм реакции. о-Алкилирование олефинами и ацетиленом. Синтез метил-трет-бутилового эфира, винулацетата и виниловых эфиров спиртов. Винилирование ацетиленом. Синтезы винулацетилена, акрилонитрила и винилпирролидона.

Димеризация и олигомеризация олефинов. Катализаторы димеризации и олигомеризации олефинов. Алюминийорганические соединения и синтезы на их основе. Производство линейных  $\alpha$ -олефинов. Синтез линейных первичных спиртов.

Метатезис (диспропорционирование) олефинов. Гомогенные и гетерогенные катализаторы. Механизм. Влияние положения кратной связи. Практическое использование и перспективы.

Процессы окисления и эпоксилирования. Окислительные агенты (молекулярный кислород, азотная кислота, пероксидные соединения). Радикально-цепное окисление парафиновых и алкилароматических углеводородов. Кинетика и катализ реакции. Получение гидропероксидов трет-бутилбензола, этилбензола и изопропилбензола. Получение спиртов и кислот окислением парафинов. Окисление нафтенных в спирты и кетоны. Окисление метилбензолов в ароматические кислоты. Гетерогенно-каталитическое окисление углеводородов и их производных. Окисление ароматических и других углеводородов с образованием внутренних ангидридов ди- и тетракарбонных кислот. Окислительный аммонолиз олефинов и других углеводородов с образованием нитрилов. Окисление олефинов с сохранением двойной связи. Получение акролеина. Окисление этилена до оксида этилена. Катализаторы окисления в перечисленных процессах, механизм и кинетика реакций. Металлокомплексный катализ окисления олефинов. Эпоксилирование олефинов пероксикислотами, пероксидом водорода и гидропероксидами. Получение оксида пропилена и глицидола. Синтез ацетальдегида и винулацетата из этилена.

Процессы дегидрирования и гидрирования. Термодинамика реакций дегидрирования и гидрирования. Катализаторы, механизм и кинетика реакций дегидрирования и гидрирования. Каталитическое и термическое дегидрирование. Дегидрирование алкилароматических соединений. Получение стирола, метилстирола, дивинилбензола. Дегидрирование парафинов и олефинов. Получение бутадиена и изопрена. Окислительное

дегидрирование олефинов. Гидрирование ароматических углеводородов. Получение циклогексана.

Синтезы на основе оксида углерода. Синтез углеводородов из СО и водорода. Катализ, условия и механизм реакции. Синтез спиртов из СО и водорода. Получение метанола. Синтез альдегидов и спиртов С<sub>3</sub>-С<sub>9</sub> из олефинов, СО и водорода (оксосинтез). Синтез карбоновых кислот на основе реакции карбонилирования олефинов, ацетилена и спиртов. Перспективы синтезов с использованием оксида и диоксида углерода.

Процессы сульфирования, сульфатирования, сульфоокисления и сульфохлорирования. Сульфирующие агенты и условия их применения. Механизм реакций. Получение алкилсульфонатов, олефинсульфонатов, алкилбензолсульфонатов, алкилсульфатов. Их значение в синтезе поверхностно-активных веществ. Области применения ПАВ, включая нефтедобычу.

Процессы нитрования. Нитрование парафинов, нафтенов и ароматических углеводородов.

### **Основная литература**

1. Рябов В.Д. Химия нефти и газа: учебное пособие. –М.: ИД «Форум», 2012. -336 с.
3. Тимофеев В.С., Серафимов Л.А. , Тимошенко А.В. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. Учебное пособие - М.: Высшая школа, 2010.- 408 с.
4. Потехин В.М., Потехин В.В. Основы теории процессов химической технологии органических веществ и нефтепереработки. Учебник. – С.-Пб.: «Химиздат», 2005. – 912 с.
5. Паниди И.С., Толстых Л.И., Трофимов В.А. Химическая технология органических веществ. Ч.1. Химическая технология производства сырья для нефтехимического синтеза – Лабораторный практикум. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2010.- 78 с. Ч.2. Химия и технология производства поверхностно-активных веществ. Лабораторный практикум. – М.: РГУ нефти и газа им. И.М.Губкина, 2010. – 78 с.

### **Дополнительная литература**

1. Гордадзе Г.Н., Гируц М.В., Кошелев В.Н. Углеводороды нефти и их анализ методом газовой хроматографии. Учебное пособие. –М.: МАКС Пресс, 2010. -240 с.
2. Гордадзе Г.Н.,Гируц М.В., Кошелев В.Н Органическая геохимия углеводородов. Книга I и II . М.: Недра-2013, -432 с.
3. Технология полимерных материалов. Учебное пособие /под. общ. ред. В.К. Крыжановского/ - С.-Пб.: Изд. «Профессия», 2008.- 544 с.
4. Косинцев В.И., Михайличенко А.И., Крашенинникова М.С. и др. Основы проектирования химических производств/ под ред. А.И.Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 332 с.
5. Платэ Н.А., Сливинский Е.В. Основы химии и технологии мономеров.- М.: Наука, 2002. – 696 с.
6. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИЦЦ «Недра-Бизнесцентр», 2000.- 677 с.
7. Брагинский О.Б. Мировая нефтехимическая промышленность. – М.: Изд. «Наука», 2003.- 556 с.