

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет» (ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Зав.кафедрой ТООНС  
имени профессора Г. Х. Камая  
д.х.н., проф. Бухаров С. В.

« 1 » марта 2024 г.

### **Программа вступительных испытаний в магистратуру**

Направление 18.04.01 «Химическая технология»

Программа подготовки «Химическая инженерия низкоуглеродных технологий замкнутого цикла»

Институт нефти, химии и нанотехнологии (ИНХН)

Кафедра-разработчик программы:

Технологии основного органического и нефтехимического синтеза имени профессора Г.Х. Камая

Казань, 2024

**1. Вопросы программы вступительного экзамена в магистратуру по направлению 18.04.01 «Химическая технология», Программа подготовки «Химическая инженерия низкоуглеродных технологий замкнутого цикла»**

1. Химическая термодинамика и расчет свойств органических веществ. Характеристические параметры вещества. Критические состояния и методы расчета критических температур, объема, давления и коэффициента сжимаемости. Нормальная температура кипения органических веществ.

2. Соотношения между объемом, давлением и температурой газов и жидкостей. Приведенное уравнение состояния. Расчет коэффициента сжимаемости газов. Определение плотности жидкости при любых значениях температуры и давления.

3. Давление паров и теплоты парообразования. Расчет, основанный на приведенном уравнении Киргофа. Определение теплоты парообразования через энтропию парообразования. Зависимость теплоты парообразования от температуры. Расчет теплоты сублимации.

4. Теплоемкость, аддитивные методы расчета. Зависимость теплоты сгорания от числа атомов кислорода, необходимых для полного сгорания вещества. Расчет стандартных теплот образования по энергиям связей и теплотам сгорания. Методы расчета тепловых эффектов реакций.

5. Химическое равновесие. Основные положения. Первое и второе начало термодинамики и критерии направленности химического процесса. Расчет константы химического равновесия. Изменение изобарно-изотермического потенциала системы и константа равновесия химического процесса. Вычисление стандартного изменения изобарно-изотермического потенциала по методу Темкина-Шварцмана. Расчет состава равновесных смесей и равновесной степени превращения для простых и сложных реакций разных типов; закономерности в равновесном составе продуктов сложных реакций.

6. Скорость превращения веществ и скорость реакции, их связь. Понятие механизма реакции. Кинетика и механизм элементарных реакций, переходное состояние. Кинетика и механизм неэлементарных реакций. Методы и примеры построения кинетических уравнений, связь их с механизмом реакции. Существование реагентов в различных формах, преобразование уравнений и моделей. Построение кинетических моделей сложных реакций.

7. Классификация органических реакций по направлению, характеру разрыва связей, молекулярности лимитирующей стадии.

8. Нуклеофильные реакции. Механизм нуклеофильного замещения, влияние строения реагентов и среды. Нуклеофильное отщепление, его механизм и конкуренция с замещением. Нуклеофильные реакции изомеризации. Механизм нуклеофильного присоединения по ненасыщенной связи, гетероциклам и карбонильной группе, влияние строения соединений и катализаторов. Нуклеофильные реакции кислот и их производных.

9. Электрофильные реакции. Механизм электрофильного присоединения по ненасыщенной связи. Катализ кислотами и комплексами металлов, влияние строения. Механизм электрофильного замещения в ароматическое ядро, катализ и влияние строения.

10. Способы зарождения и обрыва цепи. Механизм радикальных реакций замещения, расщепления, присоединения. Правила протекания и селективность.

Разветвление цепи. Кинетика радикально-цепных реакций, особенности ее исследования.

11. Катализ, определение. Ингибиторы и активаторы в катализе. Изменение энергии активации каталитической химической реакции. Виды катализаторов по специальности действия, составу, способам производства. Активность, селективность, производительность катализаторов.

12. Преимущества и недостатки гомогенного катализа. Теории гомогенного катализа. Кислотно – основной гомогенный катализ. Особенности кинетики. Механизм катализа кислотами и основаниями.

13. Электрофильно – нуклеофильный катализ. Катализаторы. Механизм электрофильного катализа на примере реакции алкилирования бензола галогеналкилами по Фриделю – Крафтсу. Механизм нуклеофильного катализа на примере реакции этерификации в присутствии имидазола.

14. Гетерогенные катализаторы. Теории гетерогенного катализа. Основы кинетики гетерогенно-каталитических реакций. Кинетическая область гетерогенного катализа. Внешнедиффузионная и внутридиффузионная области катализа.

15. Сырьевая база промышленности переработки органических веществ. Твердое топливо (каменный уголь, сланцы, торф) и возможные варианты его использования в качестве сырья. Коксохимическая промышленность. Нефть. Природные и попутные газы. Роль нефти в промышленности органического синтеза.

16. Парафины и нафтены. Источники и методы выделения низших и высших парафинов, карбамидная депарафинизация, выделение с помощью цеолитов. Технологические схемы процессов. Технические свойства и применение парафиновых углеводородов.

17. Олефины. Методы получения низших олефинов. Радикально-цепной механизм. Первичные реакции (деструкция, дегидрирование). Вторичные реакции (гидрирование, конденсация, образование ароматических углеводородов). Технология процесса пиролиза. Выделение олефинов из газов пиролиза, их очистка. Методы получения высших олефинов. Олигомеризация и диспропорционирование. Реакция Циглера. Реакция Циглера-Натта.

18. Ароматические углеводороды. Источники ароматического сырья. Ароматизация нефтепродуктов. Основы химии и технологии риформинга. Свойства и применение ароматических углеводородов.

19. Ацетилен. Технические свойства и применение. Производство ацетилена из карбида кальция и очистка его. Получение ацетилена высокотемпературным пиролизом углеводородов. Окислительный пиролиз. Выделение и очистка ацетилена.

20. Оксид углерод и синтез-газ. Каталитическая конверсия углеводородов. Газификация твердых топлив. Окислительная конверсия углеводородов. Высокотемпературная

21. Процессы восстановления, гидрирования и дегидрирования. Физико-химические основы процессов гидрирования, дегидрирования. Термодинамика, катализаторы, механизм реакций. Гидрирование углеводородов. Гидрирование кислородсодержащих соединений. Гидрирование алифатических альдегидов и кетонов. Гидрирование алифатических карбоновых кислот и их эфиров. Процессы дегидрирования парафинов и олефинов. Двухстадийный и одностадийный методы

получения дивинила из бутана. Дегидрирование алкилароматических углеводородов. Стирол и его гомологи. Дегидрирование и окисление спиртов. Производство формальдегида.

22. Процессы окисления. Общая характеристика реакции окисления. Радиально-цепное окисление. Окисление парафинов. Окисление нафтен. Технология окисления циклогексана в смесь анола и анона. Производство дикарбоновых кислот. Адипиновая кислота. Двухстадийный и одностадийный методы производства адипиновой кислоты. Окисление ароматических углеводородов. Механизм, катализаторы, получение гидропероксидов. Производство фенола и ацетона. Окисление алкилбензолов. Закономерности реакции. Производство терефталевой кислоты. Производство диметилтерефталата ступенчатым окислением пара-ксилола. Гетерогенно-каталитическое окисление углеводородов. Катализаторы и механизм. Окисление олефинов по насыщенному атому углерода. Акролеин. Окислительный аммонолиз. Акрилонитрил. Производство этиленоксида окислением этилена воздухом. Катализаторы, химизм процесса. Эпоксидирование олефинов. Технология совместного синтеза пропиленоксида и стирола.

23. Алкилирование. Алкилирующие агенты и катализаторы. Механизм процесса. Алкилирование по атому углерода. Алкилирование изопарафинов. Алкилирование ароматических углеводородов. Катализаторы. Последовательное алкилирование. Производство этилбензола и изопропилбензола. Алкилирование фенолов. Алкилирование по атому азота. Алкилирующие агенты. Катализаторы. Синтез аминов из хлорпроизводных. Синтез аминов из спиртов. Алкилирование по атому серы хлорпроизводными и олефинами. Каталитический и радикально-цепной методы синтеза меркаптанов из олефинов и сероводорода. Алкилирование по атому кислорода. Алкилирование спиртов и фенолов хлорпроизводными. Алкилирование спиртов олефинами. Оксисалкилирование и синтезы на основе алкиленоксидов. Химизм и теоретические основы. Получаемые продукты.

24. Синтез углеводородов из оксида углерода и водорода. Синтез спиртов. Получение метанола. Катализаторы, технология процесса. Оксосинтез. Химизм, катализаторы и научные основы процесса. Технология и продукты оксосинтеза. Получение карбоновых кислот и их производных на основе оксида углерода. Технология производства уксусной кислоты методом карбонилирования метанола.

25. Общая характеристика процессов галогенирования. Галогенирующие агенты. Методы галогенирования. Термодинамика реакций галогенирования. Радиально-цепное хлорирование. Состав продуктов и селективность реакций. Технология радикально-цепного хлорирования. Выбор фаз. Технология жидкофазного хлорирования. Получаемые продукты. Условия процесса и типы реакторов.

26. Технология газофазного хлорирования. Получаемые продукты. Условия процесса и типы реакторов. Технология производства аллилхлорида.

27. Ионно-каталитическое галогенирование. Присоединение галогенов по кратным связям (аддитивное галогенирование). Производство 1,2-дихлорэтана. Гидрогалогенирование и галогенгидринирование олефинов. Получаемые продукты. Технология производства винилхлорида.

28. Галогенирование ароматических соединений в ядро. Галогенирование и гидрогалогенирование спиртов, альдегидов, кетонов и кислот. Сочетание процессов хлорирования. Процессы расщепления, их сочетание с процессами

хлорирования. Окислительное хлорирование и сочетание его с хлорированием. Технология сбалансированного по хлору синтеза винилхлорида.

29. Переработка хлорорганических отходов. Технология получения тетрахлорметана и тетрахлорэтана из хлорорганических отходов. Процессы фторирования.

30. Фторирование фтором и фтороводородом. Производство фреонов и фторолефинов.

31. Гидролиз и щелочное дегидрогалогенирование галогензамещенных алифатических и ароматических углеводородов. Производство хлоролефинов и  $\alpha$ -оксидов щелочным дегидрохлорированием. Производство спиртов и фенолов щелочным гидролизом.

32. Гидратация и дегидратация. Теоретические основы процессов. Гидратация олефинов. Синтез этилового спирта. Технологическая схема. Гидратация гомологов этилена. Гидратация ацетиленов. Процессы дегидратации. Получение простых эфиров и ангидридов карбоновых кислот. Реакционные узлы для жидкофазных и газофазных процессов дегидратации.

33. Общая характеристика процессов ацилирования. Ацилирование ароматических аминов O- и S- ацилирование (этерификация). Некоторые производные угольной кислоты. Дегидратация амидов и гидратация нитрилов. Гидролиз и этерификация нитрилов

34. Сульфатирование спиртов, олефинов. Сульфирование олефинов и ароматических соединений. Сульфохлорирование и сульфоокисление парафиновых углеводородов.

35. Нитрование ароматических соединений. Нитрование парафиновых углеводородов. Нитрование ненасыщенных углеводородов. Нитрование ацетиленов. Нитрозирование алифатических, ароматических и алициклических соединений.

36. Конденсация альдегидов и кетонов с ароматическими соединениями. Производство дифенилолпропана.

37. Получение изопрена. Технология двухстадийного синтеза. Одностадийный синтез изопрена.

38. Получение капролактама. Бекмановская перегруппировка оксимов в лактамы. Другие методы синтеза лактамов.

39. Альдольная конденсация. Продукты конденсации альдегидов, кетонов. Реакции карбонильных соединений с алифатическими нитросоединениями, цианистым водородом и ацетиленом.

40. Экономические, экологические и социальные аспекты проектирования химических производств. Особенности аппаратурного оформления процессов производств органических веществ.

41. Проектирование, его роль в процессе создания научно – технического потенциала и производственных сил. Динамический характер проектирования; Использование опыта эксплуатации промышленных объектов.

42. Организация проектных работ. Структура проектной организации. Виды и характер строительства. Очередность строительства. Задание на проектирование. Этапы проектирования. Основные стадии проектирования. Проектно – сметная документация. Состав проекта со сводным сметным расчетом стоимости, рабочей документацией со сметами и рабочего проекта со сводным сметным отчетом стоимости.

43. Выбор площадки строительства. Общие требования к площадке строительства. Санитарно – защитная зона. Обоснование мощности производства, обеспечение сырьем, утилизация сточных вод, газовых выбросов и твердых отходов. Обеспечение трудовыми ресурсами.

44. Согласование, экспертиза и утверждение проектов. Авторский надзор.

45. Общие принципы построения технологических схем: энергоэффективность, безотходность, компактность, непрерывность, совмещение процессов. Примеры реализации этих принципов в технологии. Основные блоки схем и их значение (подготовка сырья, осуществление химического превращения, разделение и очистка продуктов реакции, очистка стоков и газовых выбросов). Структура технологической схемы, основные типы связей блоков и аппаратов в схеме. Совмещение схемы производства. Выбор оборудования. Трудовой режим периодических «ниток» в поточных схемах. Оценка надежности технологических схем. Оптимизация выбранной ТС.

46. Иерархия производства – отрасль, производственное объединение, завод, цех, технологический узел.

47. Экономические критерии оптимальности производства. Приведенные затраты и их структура. Себестоимость продукции.

48. Эксергетический анализ ТС. Энерготехнология процессов ОС. Термоэкономическая оптимизация в ОС.

49. Особенности анализа и синтеза ХТС в технологии тонкого органического синтеза.

50. Особенности проектирования производственных зданий и сооружений. Основные принципы компоновки оборудования. Технологические, технико-экономические, монтажные, ремонтные требования, требования техники безопасности. Размещение оборудования в зданиях и на открытых площадках.

51. Основные проблемы выбора и расчета реакторов, общие указания по их выбору. Требования, предъявляемые к химическим реакторам. Моделирование реакторов. Принципы выбора периодических, непрерывных и полупериодических схем процессов. Материальные и тепловые балансы для непрерывных и периодических процессов.

52. Теплообмен в химических реакторах, классификация методов подвода и отвода тепла и организация теплообмена. Общая методика расчета параметров аппарата.

53. Периодические и полупериодические реакторы, аппаратное оформление (полые реакторы, снабженные выносными, центробежными насосами, аппараты с мешалкой). Баланс времени периодического реактора. Расчет изотермических периодических реакторов.

54. Материальный баланс идеальных гомогенных реакторов (характеристические уравнения). Материальные балансы периодического идеального реактора, непрерывного реактора идеального вытеснения, непрерывного реактора идеального смешения.

55. Тепловой баланс химического реактора. Расчеты неизотермических периодических реакторов по кинетическим данным.

56. Энергоснабжение предприятий. Промышленное теплотребление, электроснабжение, вентиляционные системы. Снабжение предприятий воздухом, инертным газом, водородом, топливом.

57. Водоснабжение и канализационное хозяйство предприятий. Источники водоснабжения, методы и стадии очистки природных вод. Классификация сточных вод и методы их очистки. Очистные сооружения.

58. Факельная система химического предприятия. Классификация и состав факельных установок. Факторы, влияющие на их безопасную эксплуатацию.

**2. Учебно-методическое и информационное обеспечение программы вступительного экзамена в магистратуру по направлению 18.04.01 «Химическая технология», Программа подготовки «Химическая инженерия низкоуглеродных технологий замкнутого цикла»**

а) основная литература:

1. А. В. Богданов, Т. Н. Качалова, И. В. Цивунина [и др.], Прикладная химия. Сырьевые ресурсы химической промышленности [Учебник] учеб. пособие: Казань: Изд-во КНИТУ, 2015

2. Байрамов В.М. Основы химической кинетики и катализа. М.: Академия, 2003. – 256 стр.

3. Н. Н. Лебедев, Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза [Учебник] учебник для студ. хим.-технол. спец. вузов: М. : Альянс, 2013

4. Тимофеев В.С. Серафимов Л.А. Принципы технологии основного органического и нефтехимического синтеза. – М.: Высшая школа, 2003. – 536 с.

5. Химия и технология органических веществ Ч.1: Учебное пособие / Нуртдинов С.Х. Султанова Р.Б. Рахматуллин Р.Р. – Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2006. – 140 с.

6. Химия и технология органических веществ Ч.2: Учебное пособие / Нуртдинов С.Х., Султанова Р.Б., Фахрутдинова Р.А., Багаутдинова Д.Б. – Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2010. – 164 с.

7. И.З. Илалдинов, В.И. Гаврилов, Теория химико-технологических процессов органического синтеза [Учебник] учеб. пособие: Казань : , 2012, 140 с

8. В. М. Потехин, В. В. Потехин, Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки [Электронный ресурс] : Санкт-Петербург : Лань, 2021

9. В.И. Косинцев, А.И. Михайличенко, Н.С. Крашенинникова [и др.], Основы проектирования химических производств [Учебник] учеб. для студ. вузов: М. : ИКЦ «Академкнига», 2008 –371 с.

10. Г.Ю. Климентова, Т.Н. Качалова, И.В. Цивунина, Общезаводское хозяйство химических предприятий [Учебник] учеб. пособие: Казань : , 2012

б) дополнительная литература:

1. А. К. Григоричев, О. С. Павлов, Ю. А. Москвичев, Теоретические основы химической технологии [Электронный ресурс] учебное пособие: Санкт-Петербург : Лань, 2020

2. Цепные реакции в промышленности органического синтеза: Учебное пособие / Нуртдинов С.Х. Султанова Р.Б. Фахрутдинова Р.А. Кудряшов В.Н. – Казан. гос. технол. ун-т. Казань, 2006 – 120 с.

3. Р.И. Крикуненко, О.В. Джеуэлл, А.И. Хасанов, Общезаводское хозяйство предприятий [Учебник] учеб. пособие: Казань : Изд-во КНИТУ, 2015, 52 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

1. Электронный каталог УНИЦ КНИТУ: Режим доступа: <http://ruslan.kstu.ru/>

2. ЭБС «Лань»:Режим доступа: <https://e.lanbook.com>

3. Образовательная платформа «Юрайт»: Режим доступа: <https://urait.ru/>

4. ЭБС «Znanium.com»: Режим доступа: <http://znanium.com/>
5. ЭБС IPR SMART: Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/>
6. Научная электронная библиотека <https://elibrary.ru/>