

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева»

**Программа вступительных испытаний
в магистратуру
по направлению подготовки
18.04.01 Химическая технология
магистерская программа
«Технология неорганических веществ и сорбентов и катализаторов
для их производства»**

Москва 2022

Разработчики программы:

- профессор кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов,
д.х.н., профессор М.Б. Алехина;
- доцент кафедры технологии неорганических веществ и электрохимических процессов,
к.т.н., доцент Н.В. Нефедова

1. Введение

Программа вступительных испытаний по образовательной программе высшего образования – программе магистратуры **«Технология неорганических веществ и сорбентов и катализаторов для их производства»** предназначена для лиц, желающих поступить в магистратуру РХТУ им. Д.И. Менделеева по направлению подготовки 18.04.01 Химическая технология.

Программа рекомендуется для подготовки к вступительным испытаниям выпускников классических университетов, технологических и технических вузов, в основных образовательных программах подготовки которых содержатся дисциплины, рабочие программы которых аналогичны по наименованию и основному содержанию рабочим программам перечисленных ниже учебных дисциплин, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева по уровню бакалавриата.

Содержание программы базируется на следующих учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева: «Общая и неорганическая химия», «Органическая химия», «Физическая химия», «Коллоидная химия», «Процессы и аппараты химической технологии», «Общая химическая технология», «Системы управления химико-технологическими процессами», «Моделирование химико-технологических процессов», «Теоретические основы технологии неорганических веществ», «Техника экспериментальных исследований», «Оборудование и основы проектирования», «Технология реактивов и особо чистых веществ», «Адсорбция в технологии неорганических веществ», «Технология катализаторов» и других специальных учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева в рамках направления подготовки 18.03.01 Химическая технология.

Подготовка обучающихся к профессиональной деятельности, объектами которой являются продукты и материалы неорганической химии: соли, кислоты и щелочи, минеральные удобрения, высокочистые неорганические продукты, катализаторы, сорбенты, неорганические препараты.

Цели обучения состоят в приобретении знаний, умений, владений и формировании компетенций в области теории и практики производственных процессов получения неорганических продуктов, представления о структуре сырьевой базы получения продуктов неорганического синтеза, способов и процессов защиты окружающей среды от выбросов производств неорганических продуктов, утилизации и обезвреживания неорганических производственных отходов; технологических расчетов, проектирования, управления технологическими процессами и качеством продукции.

Выпускники магистерской программы могут работать в международных и российских компаниях и на предприятиях по выпуску продуктов неорганической химии, заниматься научно-исследовательской деятельностью, занимать должности, связанные с аналитической и

консультационной деятельностью в сфере технологии неорганических веществ.

2. Содержание программы

2.1. Физико-химические основы современных неорганических технологий и синтез основных неорганических продуктов

Процессы разделения воздуха, природного и коксового газа криогенным методом с целью получения кислорода, азота, редких газов, водорода и азотоводородной смеси. Синтез неорганических веществ на базе газообразного сырья: азота, кислорода, метана, монооксида углерода, водорода и других газов. Термодинамические основы получения умеренного и глубокого холода.

Физико-химические основы каталитических, адсорбционных, абсорбционных и мембранных методов очистки и разделения газов.

2.2. Неорганические синтезы на основе газового сырья

Тенденции повышения эффективности аммиачных производств. Особенности агрегатов третьего поколения при получении аммиака. Направление технологии катализаторов аммиачного производства.

Общность технологии аммиака и метанола. Физико-химические основы синтеза метанола. Катализаторы синтеза, их свойства и методы получения. Системы синтеза метанола. Получение изобутилового спирта. Процесс производства метанола и спиртов $C_2 - C_4$ на основе природного газа. Окислительный пиролиз метана.

Модернизация технологии азотной кислоты. Принципы организации технологии и пути интенсификации сернокислотного производства.

2.3. Научные основы перспективных технологий. Решение экологических проблем

Перспективные методы получения технологических газов и классификация основных процессов химической технологии. Альтернативные методы разделения воздуха, области использования получаемых газов. Связь развития криогенной технологии с прогрессом новых отраслей промышленности, широкое использование продуктов разделения воздуха, природного газа и различных газовых смесей в химической, металлургической и других отраслях промышленности. Использование температур жидкого водорода (20,4 К) и жидкого гелия (4,2К) в высокотехнологичных отраслях промышленности.

Основные стратегии модернизации аммиачных производств (радикальная и точечная) с целью повышения технического ранга российских агрегатов в мировой классификации. Разработка концепции нового аммиачного агрегата. Система «Тандем». Разрабатываемые технологии и закладка принципов минимизации вредных выбросов. Принципы экологической толерантности технологических установок.

Современные тенденции развития производства серной кислоты в России и за рубежом. Усовершенствованные схемы переработки пирита – разработки НИУИФ, фирмы Monsanto (США). Мокрый катализ ДКДА.

Волокнистые фильтры и электрофильтры для снижения вредных выбросов в атмосферу.

Проблемы загрязнения окружающей среды в производстве неорганических веществ и пути их решения.

2.4. Энергосберегающие технологические схемы. Аппаратурное оформление современных технологий

Эксергетический анализ и его основные элементы. Степень термодинамического совершенства химико-технологических процессов. Расчет эксергии. Изменение эксергии в химико-технологических процессах. Эксергетический коэффициент полезного действия. Потери эксергии.

Термодинамика конверсии природного газа углерода водяным паром и кислородом. Равновесие конверсии метана. Термодинамический анализ различных способов конверсии. Конверсия в трубчатых печах и шахтных реакторах. Типы трубчатых печей и шахтных реакторов. Компрессоры, адсорберы и другое оборудование блоков риформинга.

Термодинамические основы синтеза аммиака. Анализ эффективности промышленных схем производства синтетического аммиака. Оптимальный расход сырья и топлива в энерготехнологических схемах. Перспективы развития энерготехнологии в производстве аммиака. Аппаратурное оформление процесса в современных схемах.

Термодинамическая эффективность интенсификации процессов ТНВ. Методы снижения термодинамической необратимости химико-технологических процессов и экономии энергетических и материальных ресурсов при их проведении.

2.5. Принципы графического анализа процессов солевых технологий по диаграммам равновесных солевых систем

Способы графического изображения многокомпонентных (3-х и более) водно-солевых систем, использование метода вторичных проекций. Принципы построения на диаграммах растворимости полных технологических циклов процессов получения солей. Определение температурно-концентрационных параметров оптимального ведения процессов, постадийный и общий расчет материальных потоков.

2.6. Графо-аналитические исследования процессов получения основных удобрений и солей

Последовательно и систематически рассматриваются технологические циклы производств основных групп минеральных удобрений и некоторых солей (по диаграммам соответствующих систем):

- азотные удобрения: сульфат аммония ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$); нитрат аммония (аммиачная селитра, $\text{NH}_3\text{-HNO}_3\text{-H}_2\text{O}$); карбамид (главные стадии);
- калийные удобрения: хлорид калия из сильвинита и других руд галургическими методами ($\text{KCl-NaCl-H}_2\text{O}$, $\text{KCl-MgCl}_2\text{-H}_2\text{O}$); сульфат калия различными способами;
- фосфорные удобрения: простой суперфосфат ($\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$); экстракционная фосфорная кислота ($\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-SO}_3\text{-H}_2\text{O}$); двойной суперфосфат ($\text{CaO-P}_2\text{O}_5\text{-H}_2\text{O}$);

-сложные удобрения: нитрат калия ($KCl-NaNO_3-H_2O$ и $KCl-HNO_3-H_2O$); фосфаты аммония (аммофос, диаммофос, $NH_3-P_2O_5-H_2O$); нитрофосы ($CaO-N_2O_5-P_2O_5-H_2O$);

- некоторые соли: бора, фтора и др. по диаграммам соответствующих систем.

2.7. Промышленные адсорбционные процессы

Краткий обзор промышленных адсорбентов. Полимерные адсорбенты, мезопористые молекулярные сита, металлоорганические каркасные структуры.

Адсорбционное равновесие. Расчет величин адсорбции с использованием современных теоретических подходов. Адсорбция смесей. Массо- и теплообмен в адсорбционных процессах. Динамика фронтальной адиабатической адсорбции и десорбции. Фронтальная динамика адсорбции газовых смесей.

Циклические процессы с регенерацией адсорбента теплоносителем – водяным паром. Рекуперация углеводородов. Особенности технологии и аппаратуры процессов. Принципы проектирования установок. Альтернативные процессы рекуперации углеводородов.

Циклические процессы с косвенным вводом тепла (с регенерацией адсорбента без контакта с теплоносителем). Достоинства и недостатки адсорбционных процессов, в которых ввод (отвод) тепла осуществляют за счет теплопроводности.

Короткоцикловые процессы с безнагревной регенерацией адсорбента (КЦА). Особенности кинетики и динамики процессов КЦА. Основные технологические и аппаратурные особенности процессов.

Получение чистого водорода. Основные технологические и аппаратурные особенности процесса.

Очистка газов от диоксида углерода. Получение защитных атмосфер. Концентрирование диоксида углерода для карбонизации рассолов в содовом производстве.

Адсорбционная очистка от соединений серы. Очистка технологических газов от сероводорода, органических соединений серы, диоксида серы. Достоинства и недостатки методов.

2.8. Технология продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов

Общие сведения и классификация продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов. Номенклатура и области их потребления.

Классификация веществ по степени чистоты. Формы примесей. Нормирование примесей. Влияние примесей на свойства веществ. Источники примесей в чистом веществе. Химический, фазовый состав, дисперсность неорганических соединений. Физические, физико-химические свойства неорганических соединений. Технические характеристики и эксплуатационные свойства продуктов целевого назначения. Взаимосвязь между способом, условиями получения, составом и свойствами получаемых

продуктов. Особенности производства и контроля продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов. Особенности проектирования, эксплуатации и оптимизации производств. Гибкие автоматизированные системы. Хранение и транспортирование продуктов. Сырьевая, энергетическая и другие составляющие себестоимости продукции тонкого неорганического синтеза. Экологические проблемы производства. Пути снижения количества отходов, выбросов и сточных вод.

Классификация методов технологии тонкого неорганического синтеза. Физико-химические аспекты выбора метода синтеза. Получение растворимых кристаллических соединений. Особенности процессов зарождения новой фазы. Характеристика процессов кристаллизации, химического осаждения из растворов. Получение труднорастворимых соединений способами химического осаждения. Понятие о системе осадок – маточный раствор. Правило осаждения труднорастворимых осадков Веймарна и Тананаева. Химическое загрязнение осадков. Типы соосаждения примесей: адсорбция, окклюзия. Получение неорганических продуктов для высокотехнологичных направлений: фотоника, сенсорика, спинтроника, катализ и микроэлектроника. Неорганические материалы для токопроводящих прозрачных покрытий. Способы создания наноструктурных неорганических пленок. Электрохимические методы синтеза продуктов химической технологии. Физико-химические основы синтеза соединений с нестехеометрическим составом. Создание фотоактивных материалов с широким спектром поглощения на основе диоксида титана. Синтез неорганических соединений в специальных средах.

Соединения реактивной квалификации и особо чистые вещества. Краткая характеристика методов анализа дисперсных систем. Теоретические основы очистки веществ и классификация методов очистки. Коэффициент разделения (распределения) примесей. Химические методы очистки веществ. Очистка осаждением основного вещества. Очистка с переводом примеси и основного вещества в газовую фазу. Галогенидный метод. Гидридный метод. Очистка с использованием элементарорганических соединений. Карбонильный метод. Химические транспортные реакции. Физико-химические методы очистки веществ. Дистилляционные (ректификационные) методы очистки неорганических соединений. Кристаллизационные методы. Кристаллизация из растворов и расплавов. Фракционирование примесей в процессах кристаллизации. Основные показатели и закономерности фракционирования. Экстракционные методы. Классификация экстрагентов. Экстракционные системы для очистки неорганических веществ. Адсорбционные методы. Основные закономерности и особенности адсорбции примесей из газов, паров, растворов. Наиболее распространенные типы сорбентов. Хроматографический метод получения чистых веществ. Ионообменный метод получения чистых веществ. Получение ионитов. Электрохимические и мембранные методы разделения и очистки жидких и газовых сред.

2.9. Современное технологическое и аппаратурное оформление процессов химической технологии

Типовое оборудование для проведения основных химико-технологических процессов. Конструкции аппаратов, принцип действия которых основан на физических свойствах обрабатываемых объектов. Реакторное оборудование, тепло- и массообменные аппараты.

Анализ аппаратурного оформления технологических схем. Способы повышения эффективности технологических процессов. Инструменты оценки эффективности технологических процессов. Анализ основных уравнений тепло- и массопередачи. Компьютерные системы проектирования для оформления технологических схем и внесения конструктивных решений в типовые аппараты.

Технико-экономическое обоснование и выбор типового высокоинтенсивного оборудования для оформления промышленных технологических схем, опытно-промышленных установок, научно-исследовательских лабораторий и инжиниринговых компаний.

3. Профильные дисциплины:

- Технология основного неорганического синтеза
- Графо-аналитические исследования солевых технологий
- Современное технологическое и аппаратурное оформление процессов химической технологии»
- Технология продуктов тонкого неорганического синтеза, чистых веществ и реактивов
- Промышленные адсорбционные процессы в неорганической технологии
- Гетерогенно-каталитические процессы в технологии неорганических веществ
- Научные основы синтеза катализаторов
- Комплексная переработка минерального сырья

4. Партнеры программы

Партнеры программы - предприятия и организации, которые тесно сотрудничают с факультетом/кафедрой и могут предложить студентам места прохождения практики и дальнейшее трудоустройство.

- Государственный научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений (ГНИИХТЭОС)
- Компания "Акрон"
- Компания "ФосАгро"
- Корпорация "Росхимзащита"

5. Вопросы для подготовки к вступительным испытаниям

1. Сырье в технологии основного неорганического синтеза: виды, доступность, методы подготовки к переработке
2. Физико-химические основы конверсии метана
3. Физико-химические основы конверсии оксида углерода
4. Физико-химические основы получения разбавленной азотной кислоты

5. Концентрирование разбавленной азотной кислоты
6. Технология конвертирования CO в современных агрегатах синтеза аммиака
7. Физико-химические основы окисления диоксида серы в триоксид
8. Катализаторы окисления диоксида серы в триоксид: составы, свойства, синтез
9. Двойное контактирование в производстве серной кислоты
10. Получение водорода методом конверсии углеводородного сырья
11. Особенности катализаторов конверсии CO
12. Криогенный метод очистки и разделения газов
13. Конструктивные особенности реакторов конверсии метана и CO
14. Физико-химические основы разделения воздуха криогенным методом
15. Физико-химические основы окисления аммиака
16. Принципы комплексного производства аммиака и карбамида
17. Сжигание серы и сероводорода в производстве серной кислоты
18. Физико-химические основы окисления аммиака в производстве азотной кислоты
19. Каталитическое гидрирование оксидов углерода в системе синтеза аммиака
20. Катализаторы конверсии CO: составы, свойства, синтез
21. Катализаторы конверсии метана: составы, свойства, синтез
22. Катализаторы синтеза аммиака: составы, свойства, синтез
23. Адсорбционная осушка газов. Физико-химические основы. Технологическая схема. Оборудование
24. Блок-схема синтеза аммиака
25. Абсорбция триоксида серы в производстве серной кислоты
26. Теоретические основы получения водорода электрохимическим методом
27. Физико-химические основы адсорбционного разделения воздуха, применяемые адсорбенты.
28. Переработка оксидов азота в разбавленную азотную кислоту
29. Обжиг серосодержащих руд
30. Адсорбционные методы очистки газов от оксидов углерода
31. Каталитическое гидрирование серосодержащих соединений
32. Получение редких газов и их применение
33. Газификация твердого и жидкого топлива
34. Методы каталитического обезвреживания отходящих газов
35. Кинетика процессов в водносолевых и солеплавовых системах
36. Сырьевые материалы для производства минеральных удобрений и солей и методы их подготовки к переработке
37. Азотные удобрения. Ассортимент, качество, агрохимическая эффективность.
38. Жидкие азотные удобрения, требования к свойствам, методы получения
39. Получение KCl из сильвинита галургическим способом

40. Получение KCl из сильвинита флотацией
41. Способы получения KCl из карналлита
42. Способы получения сульфата калия
43. Физико-химические основы и методы получения экстракционной фосфорной кислоты, исходя из гидратности сульфата кальция
44. Концентрирование фосфорной кислоты выпаркой
45. Физико-химические основы получения простого суперфосфата, блок-схема процесса
46. Физико-химические основы получения двойного суперфосфата на основе слабой и концентрированной фосфорных кислот.
47. Улавливание и утилизация фторсодержащих соединений в производстве фосфорсодержащих удобрений
48. Способы утилизации фосфогипса от производства экстракционной фосфорной кислоты
49. Азотнокислотная переработка фосфатного сырья: физико-химические основы. Блок-схема процесса
50. Слеживаемость минеральных удобрений: причины, способы борьбы с ней.

6. Рекомендованная литература

1. Позин М.Е., Зинюк Р.Ю. Физико-химические основы неорганической технологии. Л.: Химия, 1985. 369 с.
2. Криогенные технологии в производстве неорганических веществ. Курс лекций: учеб. пособие /С.А. Ануров, Н. В. Нефедова, М. Б. Алехина. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2021. – 121 с.
3. Кидней А., Пэрриш У., Мак-Картни Д. Основы переработки природного газа. Перевод с англ. 2-го изд. Под ред. Лыкова О.П., Голубевой И.А. СПб: Профессия. 2013. 650 с.
4. Ануров С.А. Криогенные технологии разделения газов. М.: ООО «АР-Консалт», 2017. 233 с.
5. Соколовский А.А., Яхонтова Е.Л. Применение равновесных диаграмм в технологии минеральных солей. М.: Химия, 1982. 256 с.
6. Петропавловский И.А., Дмитриевский Б.А., Левин Б.В., Почиталкина И.А. Технология минеральных удобрений: Учебное пособие. СПб.: Проспект Науки, 2018. 312 с.
7. Данквертс П.В. Газо-жидкостные реакции. М.: Химия, 1973. 296 с.
8. Кувшинников И.М. Минеральные удобрения и соли. Свойства и способы их улучшения. М.: Химия, 1987. 256 с.
9. Третьяков Ю.Д. Твердофазные реакции. М.: Химия, 1978. 359 с.
10. Электротермические процессы химической технологии./ Под ред. Ершова В.А. Л.: Химия, 1984. 464 с.
11. Свит Т.Ф. Основы разделения воздуха методом глубокого охлаждения и ректификации: учебное пособие/ Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова.- Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2005 132 с

12. Технология связанного азота / Под ред. В.И. Атрощенко. Киев: Вища школа, 1985. 326 с.
13. Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности / Под. ред. В.М. Олевского. М.: Химия, 1985. 398 с.
14. Очистка технологических газов / Под ред. Т.А. Семеновой. М.: Химия, 1977. 488 с.
15. Амелин А.Г. Технология серной кислоты. М.: Химия, 1983. 350 с.
16. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений и солей. Л.: Химия, 1983. 354 с.
17. Яхонтова Е.Л., Петропавловский И.А., Кармышов В.Ф., Спиридонова И.А. Кислотные методы переработки фосфатного сырья. М. : Химия. 1988. 288 с.
18. Современные методы очистки техногенных сточных вод от токсичных примесей: учеб. пособие / В.В. Милютин, М.Б. Алехина. Б.Е. Рябчиков, – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2016. 132 с.
19. Алехина М.Б. Промышленные адсорбенты: учебное пособие. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. 112 с.