

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**

**18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической  
технологии, нефтехимии и биотехнологии**

*Магистерская программа*

*«Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии»*

Москва 2024

Разработчики программы:

- зав. кафедрой процессов и аппаратов, д.т.н. Равичев Л.В.
- доцент кафедры общей химической технологии, к.т.н. Давидханова М.Г.

## 1. Введение

Программа вступительных испытаний предназначена для лиц, желающих поступить в магистратуру РХТУ им. Д.И. Менделеева для обучения по направлению 18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии (магистерская программа «Инжиниринг энерго- и ресурсосбережения в химической технологии»).

Программа разработана в соответствии с Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры, утвержденным приказом Минобрнауки России от 5 апреля 2017 № 301.

Программа рекомендуется для подготовки к вступительным испытаниям выпускников бакалавриата, специалитета или магистратуры классических университетов, технических и технологических вузов.

Вступительные испытания проводятся по экзаменационным билетам, каждый из которых включает два задания из следующих четырех дисциплинарных блоков:

Блок 1. Процессы и аппараты химической технологии.

Блок 2. Общая химическая технология.

## 2. Содержание программы вступительных испытаний

### 2.1. Блок 1. Процессы и аппараты химической технологии

#### Раздел 1. Общие закономерности гидростатики

Покоящаяся жидкость под действием силы тяжести. Основное уравнение гидростатики. Практические приложения основного уравнения гидростатики.

#### Раздел 2. Общие закономерности гидродинамики

Свойства жидкостей. Закон внутреннего трения Ньютона. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости. Классификация жидкостей.

Режимы движения жидкостей. Характеристики течения жидкостей по трубопроводам.

Профили скоростей при разных режимах. Уравнение неразрывности.

Энергетический баланс стационарного движения идеальной жидкости. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Практические приложения этого уравнения. Измерение скоростей и расходов жидкости в трубопроводах.

Гидравлическое сопротивление при течении жидкостей и газов. Расчет потерь напора при течении. Определение коэффициентов трения и местных сопротивлений. Расчет диаметра трубопроводов и аппаратов.

#### Раздел 3. Перемещение жидкостей и газов с помощью машин

Основные параметры работы гидравлических машин: производительность, напор, мощность, КПД. Энергетический смысл напора насоса. Высота всасывания насоса.

Характеристика насоса и характеристика сети. Определение напора и производительности насоса при его работе на сеть. Явление кавитации и его предотвращение.

Объемные и динамические насосы и компрессоры. Принцип действия насосов объемного типа. Зависимость между производительностью и напором насосов объемного типа. Принцип действия насосов динамического типа. Зависимость между насосов производительностью и напором насосов динамического типа.

#### **Раздел 4. Гидромеханические процессы**

Классификация жидких и газовых гетерогенных систем: суспензии, эмульсии, пены, пыли, туманы. Материальный баланс процессов разделения гетерогенных систем.

Течение через неподвижные зернистые слои. Основные характеристики этих слоев. Расчет гидравлического сопротивления неподвижного слоя.

Гидродинамика псевдооживленных (кипящих) слоев. Основные характеристики псевдооживленного слоя. Зависимость потери давления от средней скорости потока.

Процессы отстаивания под действием силы тяжести. Расчет поверхности осаждения. Устройство непрерывно действующего отстойника.

Фильтрация суспензий. Основное уравнение фильтрации. Виды фильтровальных перегородок. Фильтры объемного и поверхностного действия.

#### **Раздел 5. Тепловые процессы**

Основные тепловые процессы: нагревание-охлаждение, конденсация, испарение. Тепловые балансы при изменении и без изменений фазового состояния теплоносителей. Водяной пар как теплоноситель, его преимущества. Определение расхода пара на нагревание и испарение жидкости. Прямоток и противоток теплоносителей. Расчет средней движущей силы процесса теплопередачи. Средняя движущая сила при прямотоке и противотоке теплоносителей.

Теплоотдача и теплопередача. Математическое описание, физический смысл коэффициентов, температурный градиент. Влияние гидродинамического режима течения теплоносителя на коэффициент теплоотдачи.

Расчет теплообменников. Сравнение кожухотрубного и двухтрубного теплообменников. Порядок расчета теплообменников. Определение потерь тепла стенками аппаратов в окружающую среду. Функции и расчет теплоизоляции. Уравнение аддитивности термических сопротивлений для плоской стенки в установившемся процессе.

#### **Раздел 6. Массообменные процессы**

Классификация процессов массообмена. Способы выражения составов фаз. Равновесные условия массообмена. Понятие о массоотдаче и массопередаче. Соотношение между коэффициентами массоотдачи и массопередачи. Расчет средней движущей силы массопередачи. Материальный баланс и уравнение рабочей линии при массопередаче (на примере абсорбции). Минимальный расход абсорбента.

Массообменные критерии подобия, их физический смысл. Определение коэффициентов массоотдачи из критериев подобия.

Определение основных размеров противоточных колонных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. Понятие числа единиц переноса и высоты единицы переноса. Зависимость между эффективностью тарелки по Мэрфри и числом единиц переноса. Процессы разделения жидких смесей, основанные на различной летучести компонентов. Построение рабочей линии процесса ректификации. Минимальное флегмовое число.

Устройство аппаратов для проведения массообменных процессов.

## 2.2. Блок 2. Общая химическая технология

### Раздел 1. Физико-химические закономерности химических превращений

Стехиометрические закономерности. Стехиометрические уравнения, стехиометрические коэффициенты, основное стехиометрическое соотношение, расчет количества реагирующих веществ. Базисная система линейно независимых уравнений химически реагирующей смеси. Простые и сложные реакции. Основные показатели химического превращения – степень превращения, выход продукта, интегральная и дифференциальная селективности, скорости реакции и превращения реагентов.

Термодинамические закономерности. Равновесие. Константа равновесия, равновесная степень превращения, их зависимость от температуры для экзо- и эндотермических реакций. Способы управления равновесием, принцип Ле-Шателье.

Кинетические закономерности. Скорость реакции и скорость превращения для простой и сложной реакции. Наблюдаемая скорость превращения. Кинетическое уравнение, порядок реакции, константа скорости реакции, уравнение Аррениуса. Схема превращения, ее отличие от базисной системы линейно независимых стехиометрических уравнений.

### Раздел 2. Химический процесс

Определение. Классификация химических процессов по различным признакам – химическим (вид химической реакции, термодинамические характеристики, схема превращений) и фазовым (число и агрегатное состояние фаз).

Гомогенный химический процесс. Определение и примеры. Влияние химических признаков и условий протекания процесса на его показатели. Способы интенсификации.

Понятие оптимальной температуры и линии оптимальных температур. Оптимальные температуры для обратимых и необратимых экзо- и эндотермических реакций.

Гетерогенный (некаталитический) химический процесс. Определение и примеры. Структура процесса и его составляющие (стадии), лимитирующая стадия. Наблюдаемая скорость химического превращения. Области (режимы) протекания процесса.

Гетерогенный химический процесс "газ - твердое". Обоснование, построение и анализ математической модели для реакций горения (модель "сжимающаяся сфера") и топахимической (модель "с невзаимодействующим ядром"). Наблюдаемая скорость превращения, время полного превращения и пути интенсификации для различных областей протекания процесса.

Гетерогенный химический процесс "газ - жидкость". Обоснование, построение и анализ математической модели. Наблюдаемая скорость превращения и области протекания процесса. Пути интенсификации для различных режимов процесса.

Каталитический процесс. Определение, классификация, примеры. Гетерогенный катализ на твердом катализаторе. Обоснование, построение и анализ математической модели на каталитической поверхности и в пористом зерне катализатора. Наблюдаемая скорость превращения и области протекания процесса. Степень использования внутренней поверхности. Пути интенсификации каталитических процессов.

### Раздел 3. Химические реакторы

Определение и назначение химического реактора. Реакторы в химических и нехимических отраслях промышленности. Обзор типов химических реакторов, их структурные элементы (реакционная зона, устройства ввода и вывода, смешения, разделения и распределения потоков, теплообменные элементы), основные процессы и явления в них.

Систематизация процессов в химическом реакторе по масштабу их протекания: химическая реакция, химический процесс в элементарном объеме, процессы в реакционном

элемента и в реакторе в целом, их взаимосвязь и иерархическая структура математической модели процесса в реакторе. Примеры процессов в различных видах химических реакторов.

#### Классификация

процессов в реакторах по различным признакам - вид химического процесса, организация потоков реагентов (схема движения реагентов через реактор, структура потоков в реакционной зоне), организация тепловых потоков (тепловой режим, схема теплообмена), стационарность процесса.

Обоснование и построение математической модели процесса в реакторах различного типа как системы уравнений материального и теплового балансов на основе данных о структуре потока, химических превращениях, явлениях переноса тепла и вещества и их взаимодействии. Систематизация и классификация математических моделей процессов в реакторах.

Изотермические процессы в химическом реакторе. Влияние структуры потока (идеальное смешение и идеальное вытеснение), стационарности процесса (проточный и периодический), параметров и условий протекания процесса (температура, концентрация, давление, объем реакционной зоны, время), вида химической реакции (простая и сложная, обратимая и необратимая) и ее параметров на профили концентраций и показатели процесса в реакторе (степень превращения, выход продукта, селективность процесса).

Основы расчета процесса в реакторе. Сопоставление эффективности процессов в реакторах, описываемых моделями идеального смешения и вытеснения. Каскад реакторов идеального смешения: аналитический и графический методы расчета.

Неизотермические процессы в химических реакторах. Организация тепловых потоков и режимов в химических реакторах. Распределение температуры, концентраций и степени превращения в реакторе в режимах идеального смешения и вытеснения, адиабатическом и с теплообменом. Связь температуры и степени превращения в адиабатическом процессе. Сопоставление с изотермическим режимом.

Явление тепловой устойчивости в химическом реакторе. Неоднозначность стационарных режимов. Число и устойчивость стационарных режимов в реакторе идеального смешения. Способы управления тепловым режимом.

#### **Раздел 4. Химическое производство как химико-технологическая система**

Химическое производство как химико-технологическая система (ХТС). Понятие системы и ХТС. Состав ХТС: элементы, связи, подсистемы. Элементы ХТС, классификация по виду процессов и назначению. Технологические связи элементов ХТС (потоки). Последовательная, параллельная, разветвленная, последовательно-обводная (байпас), обратная (рецикл) технологические связи. Их схемы и назначение.

Описание ХТС. Виды моделей ХТС - описательные и графические. Описательные модели - химическая схема и математическая модель. Графические модели - функциональная, технологическая, структурная и другие (специальные) схемы. Назначение, применение и взаимосвязь моделей.

Анализ ХТС. Понятие, задачи и результаты анализа ХТС - состояние ХТС, материальный и тепловой балансы, показатели химического производства.

Свойства ХТС как системы: взаимосвязанность режимов элементов, различие оптимальности элемента одиночного и в системе, устойчивость и существование стационарных режимов и др.

Материальный и тепловой балансы. Методика составления и расчета материальных и тепловых балансов ХТС и ее подсистем. Особенности расчета балансов в схемах с рециклом. Формы представления балансов (таблицы, диаграммы и др.).

Синтез ХТС. Понятие и задачи синтеза ХТС. Основные этапы разработки ХТС. Роль математических и эвристических методов.

Основные концепции синтеза ХТС: полное использование сырьевых и энергетических ресурсов, минимизация отходов, оптимальное использование аппаратуры.

Их содержание и способы реализации. Комбинированные производства, совмещенные процессы, вторичные энергетические ресурсы, энерготехнологические системы, перестраиваемые ХТС, замкнутые, малоотходные производства - их понятия, особенности и применение.

Синтез однородных ХТС: система химических реакторов. Основы построения оптимальной структуры (последовательное или параллельное соединение) для реакторов идеального смешения (РИС) и идеального вытеснения (РИВ).