



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

**ПРИНЯТО**

решением Ученого совета ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
25 октября 2021 г. (протокол № 13)

**УТВЕРЖДЕНО**

приказом ректора ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
28 октября 2021 г. № 204/1-04

**ПРОГРАММА**

вступительного испытания для поступающих в 2022 году в магистратуру  
на направление подготовки

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

по программе магистратуры

**18.04.02.01 Энерго- и ресурсосберегающие технологические процессы и аппараты**

**1. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОГРАММЫ**

Программа вступительного испытания носит междисциплинарный характер и базируется на следующих дисциплинах профессионального и специального цикла: «Процессы и аппараты химической технологии», «Математическое моделирование химико-технологических систем», «Макрокинетика химических процессов и химические реакторы», «Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения».

Программа содержит рекомендуемую к подготовке основную и дополнительную литературу, а также перечень вопросов, на основании которых формируются экзаменационные билеты. Экзаменационный билет состоит из трех вопросов. Как правило, первый вопрос посвящен теоретическим основам и методологии процессов и аппаратов химической технологии, второй вопрос касается физических (физико-химических) основ и механизма процесса, третий вопрос – аппаратурного оформления процесса.

**2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ**

**1. Основы теории процессов и аппаратов химической технологии.**

**1.1. Общие положения.**

Предмет и методы дисциплины. Историческая справка. Классификация основных технологических процессов и аппаратов.

Разновидности методов проектирования, исследования, описания и расчета ПАХТ (конструкторско-технологические разработки и производственный опыт; эксперимен-

тальные и теоретические подходы; физико-математические, инженерно-кинетические, инженерно- аппроксимационные и формально- статистические методы).

Единые кинетические закономерности (ЕКЗ). Понятие о скорости процесса, движущей силе и сопротивлении. ЕКЗ гидромеханических процессов, процессов тепло- и массопередачи.

Основы теории переноса: перенос импульса, энергии, массы. Градиентные законы вязкого трения в движущейся жидкости (Ньютона), теплопроводности (Фурье) и диффузии (Фика). Аналогия и различия уравнений. Кинетические коэффициенты и их размерности. Процессы неградиентной природы.

Структура дифференциальных уравнений полей скоростей, температур и концентраций в ПАХТ. Другие физические поля. Субстанциональная производная, локальная и конвективные составляющие. Линейные дифференциальные уравнения полей. Оператор Лапласа. Нелинейные процессы и уравнения переноса и превращения энергии и вещества.

Дифференциальные уравнения движения несжимаемой жидкости (Навье - Стокса). Сжимаемость. Сверхзвуковые течения. Реологически сложные среды. Идеальная жидкость, стационарные течения, “ползущие” течения.

Дифференциальные уравнения теплопроводности в движущейся и неподвижной среде.

Дифференциальные уравнения диффузии в движущейся и неподвижной среде.

Замыкание системы уравнений переноса. Граничные условия. Методы и виды решений дифференциальных уравнений движения жидкости, теплопроводности и диффузии. Примеры решений.

Теория подобия (ТП). Историческая справка. 1-я теорема подобия. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений: операция приведения (ОП) дифференциальных уравнений. Критерии гидромеханического подобия. 2-я теорема подобия.

Анализ размерностей (АР) физических величин. Получение критериев подобия методом анализа размерностей. Первичные и вторичные размерности. Критерии гидромеханического подобия. Число критериев.  $\pi$ - теорема Бэкингема. Достоинства и недостатки получения критериев методами АР и ОП.

Критериальные уравнения. Определяемые и определяющие критерии (числа подобия). Определяющие размеры, скорости, температуры, концентрации. Параметрические критерии (симплексы). Производные и групповые критерии. Критерии-аналоги. Примеры.

Получение явного вида критериальных уравнений обработкой экспериментальных или расчетных данных. Графическая обработка. Статистическая обработка. Метод наименьших квадратов. Выявление выбросов и границ режимов. Примеры.

Физическое моделирование и эксперимент. Техника физического эксперимента и моделирования. Правила обеспечения подобия в модели и в образце.

3-я теорема подобия. Примеры моделирования. Примеры “несовместности” критериев при физическом моделировании. Специальное, приближенное и последовательное физическое моделирование.

Аналогия дифференциальных уравнений переноса. Методы аналогии. Примеры аналогового моделирования (гидроинтеграторы, теплогидравлическая, теплодиффузионная, “тройная” аналогия, электроаналогия, АВМ).

Математическое моделирование. ЭЦВМ, персональные компьютеры и суперкомпьютеры. Комплексные методы.

Общий порядок расчета ПАХТ. Проектные и проверочные расчеты. Статика, материальные и тепловые балансы. Усреднение движущей силы. Кинетика, частные и общие кинетические коэффициенты скорости переноса. Примеры.

Инженерная оптимизация ПАХТ. Критерии оптимизации. Варьируемые параметры. Ограничения. Однокритериальная однопараметрическая оптимизация с неформализованными ограничениями. Примеры инженерной оптимизации ПАХТ.

Конструкторско-технологическая оптимизация ПАХТ. Примеры.

Понятия математической теории оптимизации. Функции и функционалы. Примеры.

## **2. Гидромеханические процессы**

Виды гидромеханических процессов. Примеры (из первой части курса).

Задачи гидромеханики и методы их решения. Пограничный слой. Аналитические решения задач гидромеханики. Пример интегрирования уравнений Навье - Стокса для течения в трубах.

Течение в трубах. Режимы движения жидкостей. Сопротивление трению. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Скоростной напор. Пять составляющих общего сопротивления сети. Примеры местных сопротивлений.

Конструкции насосов, вентиляторов и компрессоров. Потребляемая мощность. Характеристики насосов и вентиляторов. Характеристики сети и рабочая точка.

Оптимизация трубопроводных систем.

Виды дисперсных систем. Методы их получения и разделения. Влияние ПАВ. Примеры.

Гидрокинетика осаждения. Осаждение частиц сложной формы. Осаждение в системах жидкость-жидкость и жидкость-газ. Стесненное осаждение.

Расчет отстойников и осадительных камер. Размеры. Производительность. Пути повышения производительности.

Конструкции отстойников для пылей, суспензий и эмульсий. Обеспечение равномерности потоков. Предельные скорости течения.

Циклоны. Фактор разделения. Разновидности циклонов. Гидроциклоны.

Электрофильтры. Достоинства, недостатки, применение. Нарушения режима.

Фильтрование и его применение в промышленности. Примеры. Виды осадков. Фильтрующие перегородки. Рабочий цикл периодических и непрерывных процессов фильтрования. Примеры фильтров. Промывка осадка. Репульпация.

Гидрокинетика фильтрования при постоянном давлении при постоянном расходе. Уравнение Рутса. Экспериментальное и расчетное определение констант фильтрования.

Оптимальное время фильтрования. Максимальная производительность. Оптимизация фильтров.

Конструкции фильтровальной аппаратуры для жидкостей и газов.

Центрифугирование и его применение в промышленности. Примеры. Историческая справка. Разновидности центрифуг и сепараторов. Гидрокинетика центрифугирования. Фактор разделения. Мощность привода центрифуг. Резонанс и балансировка. Техника безопасности. Блокировки.

Перемешивание жидкостей. Конструкции механических мешалок. Критериальные уравнения для расчета мощности. Циркуляционное перемешивание. Пневматическое перемешивание.

Взвешенный ("кипящий" и "спутный") слой и его применение в промышленности. Примеры. Особенности гидрокинетики. Расчет. Нарушения режима кипения во взвешенном слое и методы борьбы с ними. Разновидности аппаратов со взвешенным слоем. Аэрофонтанные аппараты.

### **3. Тепловые процессы**

Тепловые процессы. Разновидности. Одно- и многооперационные тепловые и холодильные процессы. Применение в промышленности. Примеры.

Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности. Нестационарная теплопроводность. Пример интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности.

Конвективный теплоперенос. Закон Ньютона. Коэффициенты теплоотдачи.

Тепловое излучение. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Угловые коэффициенты.

Способы нагрева и охлаждения. Требования к теплоносителям.

Нагрев водяным паром. Отвод конденсата и неконденсирующихся газов.

Основное уравнение теплопередачи. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Средняя движущая сила теплопередачи. Температурные графики.

Критериальные уравнения теплоотдачи для процессов без изменения агрегатного состояния и с изменением агрегатного состояния теплоносителя.

Конструкции теплообменников. Поверхностные теплообменники (рекуператоры). Теплообменники с теплоаккумулирующей насадкой (регенераторы). Теплообменники смешения. Достоинства и недостатки. Применение. Примеры.

Оптимизация теплообменников.

Выпаривание и его применение в промышленности. Примеры применения. Физико-химические и технологические свойства растворов. Накипеобразование. Пенообразование.

Полезная разность температур при выпаривании. Виды температурных потерь. Предельное число корпусов.

Экономия тепла при выпаривании. Многокорпусное выпаривание. Выпаривание с тепловым насосом.

Конструкции выпарных аппаратов и установок.

Оптимизация выпарных установок. Распределение полезной разности температур по корпусам выпарных установок. Число корпусов.

Холодильные процессы. Разновидности. Применение в промышленности и быту. Примеры применения. Разновидности хладагентов. Обратный цикл Карно.

Умеренное охлаждение. Холодильный коэффициент. Дросселирование. Парокомпрессионные холодильные машины. Циклы.

Глубокое охлаждение. Детандеры. Особенности рабочих циклов.

### **4. Массообменные процессы**

Особенности диффузионных процессов и их классификация по основным признакам (назначение; число и вид взаимодействующих потоков; число компонентов; агрегатное состояние и комбинации взаимодействующих фаз; чистота исходных и конечных продуктов; направление и структура потоков; наличие твердой фазы).

Примеры систем и процессов.

Разновидности и особенности процессов разделения, осуществляемых без вспомогательных поглощающих или пропускающих веществ. Эффекты, используемые для разделения. Примеры процессов (масс-спектроскопические методы, термодиффузия, ректификация, кристаллизация и др.).

Разновидности и особенности процессов разделения, осуществляемых при помощи вспомогательных веществ-поглотителей. Примеры процессов (массодиффузия, абсорбция, экстракция и экстрагирование, адсорбция, ионный обмен, хроматографические методы, сушка и др.).

Разновидности и особенности процессов разделения, осуществляемых при помощи избирательно-пропускающих мембран. Примеры процессов (осмос, обратный осмос, диализ, ультрафильтрация, первапорация и др.). Технические и расчетные особенности мембранных процессов и оборудования.

Технические и расчетные особенности жидкофазных процессов и аппаратов и процессов и аппаратов с твердой фазой. Примеры.

Особенности исходных смесей и конечных продуктов, определяющие выбор диффузионных процессов разделения. Примеры.

Разновидности конструктивного оформления диффузионных процессов разделения. Однократный, дифференциальный и ступенчатый контакт фаз. Мембранные аппараты. Аппараты с механическими воздействиями и с наложением энергетических полей. Примеры.

Способы повышения эффективности диффузионных процессов разделения.

Общий порядок расчета массообменных процессов и аппаратов (диффузионных и тепло-диффузионных). Статика. Материальный баланс (общий и по компонентам). Тепловой баланс.

Диффузионное равновесие. Способы и выбор выражения концентраций. Экспериментальные методы изучения равновесия. Примеры (жидкостная экстракция). Способы описания диффузионного равновесия (табличный, графический, аналитический). Примеры.

Кинетика и динамика массопереноса. Законы переноса. Градиентный поток. Дифференциальные уравнения диффузии в движущейся и в неподвижной среде. Субстанциональная производная. Оператор Лапласа. Методы решения дифференциальных уравнений в частных производных: разделения переменных (Фурье); операционных преобразований (Лапласа); источников (функций Грина).

Единые кинетические закономерности (ЕКЗ). Массопередача (теплопередача) на локальном участке поверхности контакта фаз.

Схемы переноса. Фазовая диаграмма для массопередачи, теплопередачи.

Общий коэффициент массопередачи и частные коэффициенты массоотдачи. Общий коэффициент теплопередачи и частные коэффициенты теплоотдачи. Их аналогия и различия.

Единые кинетические закономерности (ЕКЗ). Массопередача (теплопередача) по всей поверхности контакта фаз аппарата. Основное уравнение массопередачи. Основное уравнение теплопередачи. Схемы переноса на поточных диаграммах.

Средняя движущая сила (СДС) диффузионных и тепловых процессов. Вывод интегральных уравнений (СДС). Их аналогия и различия.

Критериальные уравнения массоотдачи. Критериальные уравнения теплоотдачи. Их аналогия и различия.

Уравнения рабочих линий массообменных процессов. Соотношение потоков. Фазовые диаграммы. Примеры для случаев противотока и прямотока.

Средняя движущая сила. Число единиц переноса. Поточные и фазовые диаграммы. Способы вычисления ЧЕП и СДС. Среднеинтегральная, среднелогарифмическая и среднеарифметическая СДС. Зависимость средней движущей силы от взаимного направления потоков.

Структура потоков. Методы изучения и описания. Разновидности. Идеальное вытеснение, идеальное смешение, промежуточные режимы. Основные модели структуры потоков (базовые, ячеечная, продольной диффузии). Методы улучшения структуры потоков. Примеры. Зависимость средней движущей силы от структуры потоков. Примеры. Зависимость минимального расхода поглотителя (теплоносителя) от направления и структуры потоков. Примеры.

Сравнение аппаратов с различным направлением и структурой потоков. Достоинства и недостатки. Применение. Выбор направления и структуры потоков.

Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе основного уравнения массопередачи. Схема, диаграммы и пример.

Расчет диффузионных аппаратов на базе числа единиц переноса.

Расчет диффузионных аппаратов на базе числа теоретических тарелок "КПД" ступени и его расчет. Схема, диаграммы и пример.

Расчет диффузионных процессов с твердой фазой. Примеры.

Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе инженерных аппроксимаций кинетических характеристик. Примеры.

Сравнение методов расчета диффузионных аппаратов.

Основы инженерной оптимизации диффузионных процессов и аппаратов. Примеры.

Абсорбция. Хемосорбция. Десорбция. Сущность и применение. Примеры применения. Диффузионное равновесие при абсорбции. Закон Генри. Влияние давления и температуры. Тепловой эффект.

Растворители для абсорбции. Требования к растворителям. Примеры.

Технологические схемы абсорбции. Противоток. Прямоток. Рециркуляция. Схемы и фазовые диаграммы. Абсорбционные установки.

Пленочные массообменные аппараты. Режимы работы. Расчет.

Насадочные колонны. Насадки (регулярные, нерегулярные, плавающие), требования.

Разбрызгивающие устройства (струйчатые, капельные), требования. Режимы работы насадочных колонн. Расчет.

Тарельчатые колонны. Конструкции тарелок (колпачковые, ситчатые, перекрестноточные, клапанные). Режимы работы тарельчатых колонн. Расчет.

Распылительные диффузионные аппараты. Механические абсорберы. Режимы работы. Расчет.

Ректификация. Сущность и применение. Примеры.

Диффузионное равновесие при ректификации. Идеальные растворы. Закон Рауля. Уравнение равновесной кривой. Смеси жидкостей: идеальные, нормальные, с отклонениями, с азеотропом, частично растворимые, нерастворимые системы. Примеры. Фазовая диаграмма.

Возможности ректификационного разделения.

Ректификационная установка непрерывного действия. Схема. Потоки пара и жидкости. Уравнения рабочих линий. Фазовая диаграмма.

Расчет ректификационных колонн. Материальный и тепловой баланс. Флегмовое число. Расход хладоагента в дефлегматоре. Расход теплоносителя в кубе (кипятильнике).

Флегмовое число при ректификации. Минимальное, максимальное и оптимальное флегмовое число. Влияние флегмового числа на размеры колонны и на расходы хладоагента и теплоносителя.

Разновидности ректификационных процессов. Ректификация многокомпонентных смесей.

Физико-химические особенности ректификации и конструкции ректификационной аппаратуры. Куб. Дефлегматор.

Жидкостная экстракция. Сущность и применение. Физико-химические особенности жидкостной экстракции и конструкции экстракционных аппаратов.

Адсорбционные процессы. Разновидности. Сущность и применение. Промышленные адсорбенты. Примеры.

Периодическая адсорбция. Рабочий цикл. Десорбция активных углей, силикагелей и цеолитов. Методы расчета адсорберов. Уравнение Шилова.

Адсорбционные установки непрерывного действия. Примеры конструкций.

Методы расчета адсорбционно-десорбционных колонн.

Сушильные процессы. Сущность и применение. Примеры.

Свойства влажного воздуха и диаграмма Рамзина. Изображение на диаграмме основных процессов изменения состояния воздуха. Примеры применения диаграммы.

Диффузионное равновесие при сушке. Виды материалов. Виды связи влаги с материалом. Примеры материалов.

Схемы воздушной конвективной сушки. Материальный и тепловой баланс.

Теоретическая и реальная сушка. Балансные расчеты.

Кинетика сушки. Первый и второй период сушки. Время сушки. Уравнение Лыкова. Расчет сушилок.

Технологические особенности сушки. Усадка. Коробление. Миграция.

Порообразование. Химические превращения. Примеры материалов и процессов.

Основные типы и конструкции сушилок. Классификация. Сушилki для жидкотекучих и пастообразных материалов. Сушилki для зернистых и кусковых материалов. Сушилki для штучных и ленточных материалов.

## 5. Механические процессы

Процессы дробления, измельчения и классификации. Теории измельчения. Грубое, среднее, тонкое и коллоидное измельчение. Схемы дробилок и мельниц.

Процессы классификации. Способы рассева, сепарации, классификации. Схемы оборудования.

Схемы рационального измельчения и классификации. Пути экономии энергии и повышения качества продуктов.

### 3. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ВСТУПИТЕЛЬНОМУ ИСПЫТАНИЮ

1. Предмет и методы науки о процессах и аппаратах химической технологии (ПАХТ). Историческая справка. Классификация процессов и аппаратов (по целевому назначению, физической сущности, агрегатному состоянию, числу фаз и компонентов, чистоте продуктов, способу организации процесса).

2. Периодические и непрерывные технологические процессы. Особенности, достоинства, недостатки, применение. Примеры.

3. Разновидности методов проектирования, исследования, описания и расчета ПАХТ: экспериментальные и теоретические подходы; физико-математические, инженерно-кинетические, инженерно-аппроксимационные и формально-статистические методы). Примеры.

4. Единые кинетические закономерности ПАХТ (ЕКЗ). Скорость, движущая сила и сопротивление (кинетический коэффициент скорости). ЕКЗ гидромеханических процессов. Примеры.

5. Единые кинетические закономерности ПАХТ. ЕКЗ процессов теплопередачи. Примеры.

6. Единые кинетические закономерности ПАХТ. ЕКЗ процессов массопередачи (диффузионных процессов). Примеры.

7. Градиентные законы вязкого трения в движущейся жидкости (Ньютона), теплопроводности (Фурье) и диффузии (Фика). Аналогия и различия уравнений. Кинетические коэффициенты и их размерности. Процессы неградиентной природы.

8. Теория подобия (ТП). Историческая справка. 1-я теорема подобия. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений: операция приведения дифференциальных уравнений. Критерии гидромеханического подобия. 2-я теорема подобия.

9. Анализ размерностей (АР) физических величин. Получение критериев подобия методом анализа размерностей. Первичные и вторичные размерности. Критерии гидромеханического подобия. Число критериев.  $\pi$ -теорема Бэкингема. Достоинства и недостатки получения критериев методами АР и ОП.

10. Критериальные уравнения. Определяемые и определяющие критерии (числа подобия). Определяющие размеры, скорости, температуры, концентрации. Параметрические критерии (симплексы). Производные и групповые критерии. Критерии-аналоги. Примеры (из всей 1-й части курса).

11. Получение явного вида критериальных уравнений обработкой экспериментальных или расчетных данных. Графическая обработка. Статистическая обработка. Метод наименьших квадратов.



12. Физическое моделирование и эксперимент. Техника физического эксперимента и моделирования. Правила обеспечения подобия в модели и в образце. 3-я теорема подобия.

13. Общий порядок расчета ПАХТ. Проектные и проверочные расчеты. Статика, материальные и тепловые балансы. Усреднение движущей силы.

14. Виды гидромеханических процессов. Примеры.

15. Задачи гидромеханики и методы их решения. Пограничный слой.

16. Аналитические решения задач гидромеханики. Пример интегрирования уравнений Навье - Стокса для течения в трубах.

17. Течение в трубах. Режимы движения жидкостей. Сопротивление трению.

18. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Скоростной напор. Пять составляющих общего сопротивления сети. Примеры местных сопротивлений.

19. Конструкции насосов, вентиляторов и компрессоров. Потребляемая мощность. Характеристики насосов и вентиляторов. Характеристики сети и рабочая точка.

20. Оптимизация трубопроводных систем.

21. Виды дисперсных систем. Методы их получения и разделения. Влияние ПАВ. Примеры.

22. Гидрокинетика осаждения. Осаждение частиц сложной формы. Осаждение в системах жидкость-жидкость и жидкость-газ. Стесненное осаждение.

23. Расчет отстойников и осадительных камер. Размеры. Производительность. Пути повышения производительности.

24. Конструкции отстойников для пылей, суспензий и эмульсий. Обеспечение равномерности потоков. Предельные скорости течения.

25. Циклоны. Фактор разделения. Разновидности циклонов. Гидроциклоны.

26. Электрофильтры. Достоинства, недостатки, применение. Нарушения режима.

27. Фильтрование и его применение в промышленности. Примеры. Виды осадков. Фильтрующие перегородки.

28. Рабочий цикл периодических и непрерывных процессов фильтрования. Примеры фильтров. Промывка осадка. Репульпация.

29. Гидрокинетика фильтрования при постоянном давлении и при постоянном расходе. Уравнение Рутса.

30. Экспериментальное и расчетное определение констант фильтрования.

31. Оптимальное время фильтрования. Максимальная производительность. Оптимизация фильтров.

32. Конструкции фильтровальной аппаратуры для жидкостей и газов.

33. Центрифугирование и его применение в промышленности. Примеры. Разновидности центрифуг и сепараторов.

34. Гидрокинетика центрифугирования. Фактор разделения. Мощность привода центрифуг. Резонанс и балансировка.

35. Перемешивание жидкостей. Конструкции механических мешалок. Критериальные уравнения для расчета мощности.

36. Циркуляционное перемешивание. Пневматическое перемешивание.

37. Взвешенный ("кипящий" и "спутный") слой и его применение в промышленности. Примеры. Особенности гидрокинетики. Расчет.

38. Нарушения режима кипения во взвешенном слое и методы борьбы с ними. Разновидности аппаратов со взвешенным слоем. Аэрофонтанные аппараты.

39. Тепловые процессы. Разновидности. Одно- и многооперационные тепловые и холодильные процессы. Применение в промышленности. Примеры (из всего курса).

40. Теплопроводность. Закон Фурье. Коэффициент теплопроводности.

41. Нестационарная теплопроводность. Пример интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности.

42. Конвективный теплоперенос. Закон Ньютона. Коэффициенты теплоотдачи.

43. Тепловое излучение. Поглощение, отражение, пропускание. Избирательность. Закон Стефана-Больцмана. Степень черноты. Угловые коэффициенты.

44. Способы нагрева и охлаждения.

45. Требования к теплоносителям и хладагентам.

46. Сравнение достоинств и недостатков различных способов нагрева/охлаждения.

47. Нагрев водяным паром. Нагрев "глухим" паром. Нагрев "острым" паром.

48. Отвод конденсата и неконденсирующихся газов. Конденсатоотводчики. Арматура. Источники неконденсирующихся газов.

49. Основное уравнение теплопередачи (ОУТ). Вывод ОУТ. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Термические сопротивления.

50. Средняя движущая сила (СДС) теплопередачи. Температурные графики для теплообменников. Вывод уравнения среднеинтегральной СДС. Число единиц переноса.

51. Средняя движущая сила теплопередачи. Температурные графики. Среднелогарифмическая СДС. Среднеарифметическая СДС.

52. Структура потоков. Идеальное вытеснение (поршневой режим). Идеальное перемешивание. Промежуточные структуры. Примеры.

53. Зависимость СДС от структуры потоков. Снижение СДС при перемешивании в одном из потоков или в обоих потоках.

54. Температурные графики. Предельные температуры теплоносителя/хладагента при прямотоке и при противотоке, при идеальном вытеснении и смешении. Степень использования и наименьшие расходы теплоносителя/хладагента.

55. Критериальные уравнения теплоотдачи для процессов без изменения агрегатного состояния теплоносителя. Уравнение Крауссольтца.

56. Критериальные уравнения теплоотдачи для процессов с изменением агрегатного состояния теплоносителя. Уравнение Нуссельта.

57. Относительные величины коэффициентов теплоотдачи. Пути увеличения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи. Примеры.

58. Конструкции теплообменников. Основные разновидности.

59. Поверхностные теплообменники (рекуператоры). Кожухотрубчатые теплообменники. Многоходовые теплообменники. Способы крепления труб в трубных решетках. Компенсация температурных расширений.

60. Конструкции теплообменников. Змеевиковые теплообменники. Пластинчатые теплообменники. Ребристые теплообменники. Аппараты с рубашкой.

61. Конструкции теплообменников. Теплообменники с теплоаккумулирующей насадкой (регенераторы). Высокотемпературные рекуператоры, башни Каупера. Низкотемпературные рекуператоры, рекуператоры Френкля, альфоль.

62. Тепловые рекуперативные установки непрерывного действия. Схема с переключением рекуператоров. Рекуператоры с вращающимся барабаном, рекуператор Юнгстрема.

63. Теплообменники смешения. Нагрев острым паром. Барометрический конденсатор. Аппараты погружного горения. Достоинства и недостатки. Применение. Примеры.

64. Расчет теплообменников. Инженерная оптимизация теплообменников. Критерии оптимизации, варьируемые параметры, ограничения. Модельная задача вариантной оптимизации по наименьшим приведенным затратам с одним варьируемым параметром при неформализуемых ограничениях.

65. Выпаривание. Выпарные аппараты (ВА) и выпарные установки (ВУ). Применение в промышленности. Технологические и экономические особенности. Основные задачи проектирования. Примеры.

66. Физико-химические и технологические свойства растворов. Комплекс особенностей, их взаимосвязь и влияние на задачи проектирования. Температура кипения растворов. Виды температурных потерь. Их расчет.

67. Общая и полезная разность температур при выпаривании. Виды температурных потерь. Температурный график. Схема потерь. Сложение потерь. Предельное число корпусов.

68. Физико-химические и технологические свойства растворов. Растворимость. Тепловые эффекты. Брызгоунос. Пенообразование. Снижение, конструктивно-технологические меры.

69. Физико-химические и технологические свойства растворов. Накипеобразование. Виды вреда. Способы уменьшения, удаление. Конструктивно-технологические меры.

70. Коэффициенты теплоотдачи по корпусам выпарных установок. Причины снижения. Пути увеличения эффективности ВА и ВУ.

71. Экономия тепла при выпаривании. Многокорпусное выпаривание. Выпаривание с тепловым насосом. Экстра-пар.

72. Распределение полезной разности температур (ПРТ) по корпусам выпарных установок. Модельные оптимальные распределения ПРТ по корпусам ВУ.

73. Расчет и оптимизация выпарных установок. Материальный баланс. Тепловой баланс. Итерационные расчеты. Инженерная оптимизация выпарных установок. Оптимизация по числу корпусов.

74. Разновидности выпарных установок. Опреснительные и дистилляционные установки. Однокорпусные выпарные установки. Схема. Достоинства и недостатки.

75. Противоточные выпарные установки. Схема. Достоинства и недостатки.

76. Прямоточные выпарные установки. Схема. Достоинства и недостатки.

77. Выпарные установки с тепловым насосом. Схема. Достоинства и недостатки.

78. Конструкции выпарных аппаратов. Основные группы и разновидности. Конструктивные решения: снижение брызгоуноса и пенообразования, улавливание брызг, снижение накипеобразования и чистка, повышение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи, отвод неконденсирующихся газов, отвод жидкостей и газов из вакуумной аппаратуры. ВА для термолабильных растворов, для вязких растворов, для сильно корродирующих растворов.

79. Конструкции ВА с естественной конвекцией. Разновидности улучшения циркуляции.

80. Конструкции выпарных аппаратов. ВА с принудительной конвекцией.

81. Конструкции выпарных аппаратов. Прямоточные пленочные ВА без циркуляции, аппараты с всползающей пленкой, аппараты Кестнера, аппараты со стекающей пленкой.

82. Холодильные процессы. Разновидности. Применение в промышленности и быту. Примеры. Разновидности хладоагентов. Обратный цикл Карно.

83. Умеренное охлаждение. Холодильный коэффициент. Эффект Джоуля-Томсона. Дросселирование. Парокомпрессионные холодильные машины. Циклы.

84. Глубокое охлаждение. Детандеры. Особенности рабочих циклов. Сжижение и разделение газов.

85. Диффузионные процессы. Разновидности и классификация. Диффузионные процессы: разделения, смешения, спутные, вспомогательные. Агрегатное состояние и число взаимодействующих фаз; число компонентов; концентрация сырья; чистота целевых продуктов. Примеры систем и процессов.

86. Разновидности и особенности процессов разделения, осуществляемых без вспомогательных поглощающих или пропускающих веществ. Эффекты, используемые для разделения. Примеры процессов (ректификация, кристаллизация и др.).

87. Разновидности и особенности процессов разделения, осуществляемых при помощи вспомогательных веществ-поглотителей. Примеры процессов (абсорбция, жидкостная экстракция, адсорбция, сушка и др.).

88. Разновидности и особенности процессов разделения, осуществляемых при помощи избирательно - пропускающих мембран. Примеры процессов (обратный осмос, диализ, ультрафильтрация и др.).

89. Разновидности диффузионных аппаратов. Аппараты однократного контакта, аппараты с мешалкой, емкостные и ячеечные аппараты. Колонные и барабанные аппараты, дифференциальный и ступенчатый контакт фаз. Примеры из всего курса.

90. Особенности исходных смесей и конечных продуктов, затрудняющие разделение. Способы повышения эффективности диффузионных процессов разделения. Выбор диффузионных процессов и аппаратов. Комбинированные схемы. Примеры из всего курса.

91. Диффузионное равновесие. Способы и выбор выражения концентраций. Способы описания диффузионного равновесия (табличный, графический, аналитический). Фазовые диаграммы равновесия. Примеры из всего курса.

92. Кинетика и динамика диффузионных процессов. Дифференциальные уравнения диффузии в движущейся и в неподвижной среде.

93. Дифференциальные уравнения диффузии. Субстанциональная производная. Оператор Лапласа. Методы решения дифференциальных уравнений в частных производных.

94. Единые кинетические закономерности процессов переноса. Основное уравнение массопередачи (ОУМ). Сравнение с основным уравнением теплопередачи. Их аналогия и различия.

95. Общий коэффициент массопередачи и частные коэффициенты массоотдачи. Сравнение с общим коэффициентом теплопередачи и частными коэффициентами теплоотдачи. Их аналогия и различия.

96. Критериальные уравнения массоотдачи. Сравнение с критериальными уравнениями теплоотдачи. Их аналогия и различия.

97. Фазовые диаграммы равновесия и рабочие линии. Уравнения рабочих линий массообменных процессов. Соотношение потоков. Примеры для случаев противотока и прямотока. Предельные положения рабочих линий.

98. Средняя движущая сила диффузионных процессов. Сравнение с СДС тепловых процессов. Число единиц переноса. Методы расчета СДС и ЧЕП.

99. Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе основного уравнения массопередачи. Исходные данные. Материальный баланс. Средняя движущая сила. Коэффициенты массопередачи и массоотдачи.

100. Расчет с использованием числа единиц переноса (ЧЕП) и высоты единицы переноса (ВЕП).

101. Расчет диффузионных аппаратов на базе числа теоретических тарелок (ЧТТ). Исходные данные. Материальный баланс. "Кпд" ступени и его расчет. Предельные скорости потоков, удерживающая способность, унос, захлебывание, рабочие скорости. Сечение, высота и размеры аппарата. Примеры из всего курса.

102. Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе инженерных аппроксимаций кинетических характеристик. Примеры из всего курса.

103. Принципы инженерной оптимизации диффузионных процессов и аппаратов. Примеры из всего курса.

104. Абсорбция. Хемосорбция. Десорбция. Сущность и применение. Примеры.

105. Диффузионное равновесие при абсорбции. Закон Генри. Влияние давления и температуры. Тепловой эффект. Растворители для абсорбции. Требования к растворителям. Примеры.

106. Технологические схемы абсорбции. Противоток. Прямоток. Рециркуляция. Схемы и фазовые диаграммы. Конструкции абсорбционных аппаратов.

107. Насадочные колонны. Насадки (регулярные, нерегулярные, плавающие), требования. Разбрызгивающие устройства (струйчатые, разбрызгивающие), требования. Режимы работы колонн. Расчет.

108. Тарельчатые колонны. Конструкции тарелок (колпачковые, ситчатые с переливными устройствами, провальные, перекрестноточные, клапанные). Режимы работы колонн. Расчет.

109. Ректификация. Сущность и применение. Примеры. Фазовая диаграмма. Схема ректификационной установки. Разновидности ректификационных процессов.

110. Диффузионное равновесие при ректификации. Идеальные растворы. Закон Рауля. Уравнение равновесной кривой. Фазовая диаграмма. Смеси с азеотропом. Возможности ректификационного разделения.

111. Ректификационная установка непрерывного действия. Схема. Потоки пара и жидкости. Уравнения рабочих линий. Фазовая диаграмма.

112. Расчет ректификационных колонн. Материальный и тепловой баланс. Флегмовое число. Расход хладоагента в дефлегматоре. Расход теплоносителя в кубе (кипятильнике).

113. Флегмовое число при ректификации. Минимальное, максимальное и оптимальное флегмовое число. Влияние флегмового числа на размеры колонны и на расходы теплоносителя и хладоагента.

114. Оптимизация ректификационных процессов и аппаратов.
115. Физико-химические особенности ректификации и конструкции ректификационной аппаратуры. Сходство и отличия от абсорбционных колонн. Куб. Дефлегматор.
116. Жидкостная экстракция. Сущность и применение. Примеры.
117. Диффузионное равновесие при жидкостной экстракции. Растворители для экстракции. Требования. Примеры.
118. Технологические схемы жидкостной экстракции. Треугольная диаграмма. Особенности жидкостной экстракции и экстракционных аппаратов. Сходство и отличия от абсорбционных и ректификационных колонн.
119. Адсорбционные процессы. Разновидности. Сущность и применение. Примеры. Промышленные адсорбенты. Разновидности, характеристики и особенности.
120. Диффузионное равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции. Влияние температуры и давления. Тепловой эффект. Требования к адсорбентам. Промышленные адсорбенты. Разновидности, характеристики и особенности.
121. Периодическая адсорбция. Рабочий цикл. Десорбция активных углей и силикагелей. Методы расчета адсорберов. Уравнение Шилова.
122. Адсорбционные установки непрерывного действия. Схема установки. Требования к адсорбентам. Методы расчета адсорбционно-десорбционных колонн.
123. Сушильные процессы. Сущность и применение. Способы сушки и обезвоживания. Примеры.
124. Свойства влажного воздуха и диаграмма Рамзина. Изображение на диаграмме I-x основных процессов изменения состояния воздуха. Примеры применения диаграммы.
125. Диффузионное равновесие при сушке. Изотермы сушки. Виды материалов. Виды связи влаги с материалом. Примеры.
126. Схемы воздушной конвективной сушки. Материальный и тепловой баланс. Теоретическая и реальная сушка. Балансные расчеты.
127. Кинетика сушки. Первый и второй период сушки. Время сушки. Расчет сушилок.
128. Технологические особенности сушки. Усадка. Коробление. Миграция. Порообразование. Химические превращения. Влияние на качество продукта. Примеры.
129. Сушилки для жидкотекучих, пастообразных и зернистых материалов.
130. Сушилки для кусковых, штучных и ленточных материалов.
131. Процессы и оборудование для измельчения твердых материалов.
132. Процессы и оборудование для классификации твердых материалов.

#### 4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К ВСТУПИТЕЛЬНОМУ ИСПЫТАНИЮ

Целью организации самостоятельной работы при подготовке к вступительному испытанию является получение более глубоких дополнительных знаний о предметной области и приобретение навыков и умений по основам самостоятельной работы.

В ходе самостоятельной работы рекомендуется следующее.

Во-первых, следует изучить теоретические вопросы по соответствующей теме с проработкой как конспектов имеющихся лекций, так и учебников. Особое внимание сле-

дует обратить на основные понятия и зависимости. Затем нужно самостоятельно разобрать практические примеры или задачи по каждой группе рассматриваемых процессов, что способствует более глубокому пониманию и усвоению теоретического материала. После этого рекомендуется еще раз вернуться к вопросам теории.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 5.1. Основная литература

1. Комиссаров, Ю.А. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие / Ю.А. Комиссаров, А.С. Гордеев, Д.П. Вент. – М.: Химия, 2011. – 1229 с.
2. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии: Учебное пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков.- М.: ООО ТИД «Альянс», 2006. – 576 с.

### 5.2. Дополнительная литература

1. Дытнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии (в двух частях) / Ю.И. Дытнерский. - М.: Химия, 1995.
2. Кутепов, А.М. Общая химическая технология / А.М. Кутепов, Т.И. Бондарева, М.Г. Беренгартен. - М.: Высш. шк., 1990.- 520 с.
3. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии": учебное пособие для вузов / В. Ф. Фролов. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2003. – 608 с.
4. Романков, П.Г. Гидромеханические процессы химической технологии.- 3-е изд. / П.Г. Романков, М.И. Курочкина.- Л.: Химия, 1982.- 288 с.
5. Романков, П.Г., Теплообменные процессы химической технологии / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов.- Л.: Химия, 1982.- 288 с.
6. Романков, П.Г. Массообменные процессы химической технологии / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов.- Л.: Химия, 1990.- 384 с.
7. Основные процессы и аппараты химической технологии / Под ред. Ю.И. Дытнерского. Пособие по курсовому проектированию. - М.: ООО ИД «Альянс», 2007–496 с.
8. Тимонин, А.С. Основы конструирования и расчета химико-технологического и природоохранного оборудования: Справочник. В 3 томах / А.С. Тимонин.- Калуга: Изд-во Бочкаревой, 2002.

### 5.3. Периодические издания

1. Журнал «Теоретические основы химической технологии»
2. Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение»
3. Журнал Известия вузов. Серия «Химическая технология»

### 5.4 Internet-ресурсы

1. Журнал «Химическая промышленность сегодня» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://elibrary.ru/>

Утверждено на заседании Методического совета ТГТУ (Протокол от 15.10.2021 № 4)