



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Московский технологический университет»

**МИРЭА**



УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор

В.Л. Панков

« 28 » марта 2018 г.

### Программа вступительного экзамена

Уровень высшего образования

**Подготовка кадров высшей квалификации**

Направление подготовки

**18.06.01 «Химическая технология»**

Направленность (научная специальность)

**05.17.08 «Процессы и аппараты химической технологии»**

Форма обучения – очная, заочная

Москва, 2018

## 1. Гидравлика

Основные законы переноса субстанции в процессах химической технологии. Основное балансовое соотношение. Уравнения неразрывности потока и расхода. Объемный и массовый расход жидкости. Дифференциальное уравнение движения несжимаемой жидкости (уравнение Навье – Стокса).

Гидростатика. Идеальная жидкость. Уравнение Эйлера и основное уравнение гидростатики. Уравнение поверхности уровня. Давление и поверхности уровня в покоящемся сосуде и вертикальном цилиндрическом сосуде, вращающемся вокруг своей оси. Силы давления на дно и боковые стенки сосуда. Центр давления.

Гидродинамика. Основные понятия. Задачи гидродинамики. Уравнения Бернулли для идеальной жидкости. Геометрическая и энергетическая интерпретации уравнения Бернулли. Потерянный напор при течении реальных жидкостей. Уравнение равномерного движения (Дарси – Вейсбаха). Коэффициент гидравлического сопротивления. Геометрическое и физическое подобие. Масштабные преобразования. Основы теории физического и математического моделирования процессов химической технологии. Критерии подобия в гидродинамике.

Ламинарный режим. Скорость и расход. Турбулентный режим. Общая картина течения. Профиль скорости. Расчёт трубопроводов. Местные сопротивления. Трубопроводы простые и сложные. Задачи эксплуатации и проектирования при расчёте трубопроводов. Расчёт простого трубопровода. Алгоритмы решения задач эксплуатации и проектирования. Расчёт сложного (разветвлённого) трубопровода. Расчёт газопровода при изотермическом течении газа.

Течение жидкостных плёнок и истечение жидкостей из отверстий. Гравитационное течение жидкостных плёнок по вертикальной поверхности. Профиль скорости и расход. Средняя скорость. Истечение при постоянном напоре. Скорость истечения и расход через отверстие.

Истечение при переменном напоре. Время опорожнения сосудов различной формы (общий случай и конкретный пример).

Неньютоновские жидкости. Характеристики неньютоновских жидкостей. Диаграммы сдвига. Зависимости кажущейся вязкости от напряжения сдвига. Бингамовские жидкости. Профиль скорости и подход к определению расхода. Псевдопластичные (и дилатантные) жидкости. Скорость и расход таких жидкостей в круглых трубах.

Гидравлика дисперсных систем. Общая характеристика дисперсных систем с твёрдой фазой. Порозность слоя и средний диаметр частиц. Сопротивление неподвижного слоя (формула Эргана). Псевдооживленный слой. Кривые псевдооживления. Сопротивление псевдооживленного слоя. Вывод формулы Годеса для скорости начала псевдооживления. Скорость витания одиночной частицы. Вывод формулы Годеса для скорости витания. Высота и порозность псевдооживленного слоя. Зависимость порозности слоя

от скорости газа. Обобщённая формула Тодеса.

Перемещение жидкостей. Классификации насосов. Основные характеристики насосной установки: производительность, напор, мощность. Поршневые насосы. Принцип действия и классификация. Производительность. Закон движения поршня. Диаграмма подачи. Неравномерность подачи. Работа и расчёт воздушных колпаков. Предельная высота всасывания поршневыми насосами (с воздушным колпаком и без него). Регулирование производительности. Центробежные насосы. Устройство и принцип работы. Основное уравнение центробежного насоса. Напор и производительность центробежных насосов. Частные и универсальные характеристики центробежных насосов. Последовательная и параллельная работа двух насосов. Предельная высота всасывания.

## 2. Гидромеханические процессы

Осаждение. Характеристики разделяемой системы. Производительность. Конструкции и расчёт отстойников: вертикальных и горизонтальных, периодических и непрерывного действия. Центробежное осаждение. Принцип работы и конструкции центрифуг. Расчёт времени осаждения частиц в поле центробежных сил. Производительность центрифуг. Циклоны. Мультициклоны. Мощность, затрачиваемая при работе центрифуг.

Фильтрация. Устройство и работа фильтров. Основное уравнение фильтрации. Фильтрация при постоянной движущей силе и при постоянной скорости фильтрации. Определение параметров процесса фильтрации. Фильтрация в поле центробежных сил.

Перемешивание. Цели процесса перемешивания. Способы перемешивания. Пневматическое перемешивание. Циркуляционное перемешивание. Перемешивание лопастными мешалками. Расчёт мощности на перемешивание для лопастей различной конфигурации.

Структура потоков. Общие понятия. Модели идеального вытеснения (ИВ) и идеального перемешивания (ИП). Причины продольного перемешивания. Сравнение аппаратов ИВ и ИП. Модель ИВ. Время пребывания. Кривые отклика. Результирующий эффект процесса. Модель ИП: время пребывания, кривые отклика, результирующий эффект. Параметры кривых отклика моделей ИВ и ИП. Структура потоков в реальных аппаратах. Ячеечная модель. Сущность модели. Расчётные соотношения. Диффузионная модель потока с продольным перемешиванием. Сущность модели. Расчётные соотношения. Кривые отклика.

Сопоставление и оценка моделей различных уровней. Экспериментальное изучение продольного перемешивания. Общие положения. Связь кривых отклика с функциями распределения. Выбор модели и определение её параметров методом моментов.

## 3. Тепловые процессы и аппараты

Назначение, классификация и схемы теплообменных аппаратов.

Промышленные способы подвода и отвода тепла к химической аппаратуре. Конструктивный и поверочный расчёты теплообменных аппаратов. Основы теории теплопередачи. Коэффициент теплопередачи. Теплопередача через одно- и многослойные плоские и цилиндрические стенки и сферические поверхности, когда рабочие вещества не изменяют агрегатное состояние. Теплопередача от конденсирующегося пара к потоку теплоносителя не изменяющего своё агрегатное состояние. Теплопередача от конденсирующегося пара к кипящей жидкости. Движущая сила стационарного процесса и температурные профили теплоносителей в рекуперативных аппаратах при прямо-, против- и смешанном токе. Распределение температур в катализаторной зоне круглой трубы. Критическая и целесообразная толщина тепловой изоляции.

Выпаривание. Физико – химические основы процесса выпаривания. Типовая схема однокорпусной выпарной установки с барометрическим конденсатором смещения и принцип расчёта основных технологических и конструктивных параметров аппарата. Многокорпусная выпарная установка, принципиальная схема и расчёт основных технологических и конструктивных параметров аппаратов. Выпарные аппараты с тепловым насосом. Повышение эффективности выпарных установок за счёт утилизации теплоты.

#### **4. Основы теории массопередачи и методы расчёта массообменной аппаратуры**

Основы массопередачи. Классификация массообменных процессов. Конструкции массообменных аппаратов: тарельчатые и насадочные. Концентрации: массовые и мольные; абсолютные и относительные. Концентрационный треугольник. Его свойства. Правило сложения смесей. Правило рычага 1 и 2 рода. Вычитание смесей. Следствия из правил. Фазовое равновесие в диаграмме  $y - x$  и в треугольной диаграмме. Направление и движущая сила массообменного процесса. Основное уравнение массопередачи. Расчёт потока вещества по известным потокам фаз и концентрациям. Общая схема процесса массопереноса в аппарате и влияние отдельных стадий на результат для простейшего случая (идеальное перемешивание в каждой из фаз). Поверхностная (кинетическая) и балансовая задачи. Уравнение рабочих линий при прямоточном и противоточном движении фаз в режиме идеального вытеснения. Графический способ определения числа теоретических ступеней. Аналитический расчёт числа теоретических ступеней при прямой линии равновесия. Конструкции тарелок: колпачковая, ситчатая, клапанная. Расчёт высоты тарельчатых колонн. Расчёт насадочных массообменных аппаратов. Двухплёночная теория массопередачи. Определение коэффициентов массопередачи при известных коэффициентах массоотдачи в фазах. Расчёт средней движущей силы процесса массопередачи в общем случае (кривая линия равновесия) и при прямой линии равновесия. Расчёт поперечного сечения массообменного аппарата. Расчёт высоты насадочного аппарата с

помощью ВЕП и ВЭТС (ВЭТТ).

Абсорбция. Требования к абсорбенту. Равновесие при абсорбции. Влияние температуры и давления. Схема абсорбционно–десорбционной установки. Неизотермическая абсорбция. Построение политермы. Абсорбция с рециркуляцией абсорбента

Процессы перегонки (дистилляция и ректификация). Фазовое равновесие жидкость – пар для бинарных смесей. Идеальные смеси с полной взаимной растворимостью компонентов. Влияние давления на фазовое равновесие. Относительная летучесть. Аналитическая зависимость  $y$  от  $x$ . Фазовое равновесие реальных жидких бинарных смесей. Фазовое равновесие для жидкостей с полной и частичной взаимной нерастворимостью.

Дистилляция. Простая постепенная дистилляция. Материальный расчёт простой дистилляции. Тепловой расчёт процесса простой постепенной дистилляции. Непрерывная дистилляция (однократное испарение). Материальный расчёт. Многократная непрерывная дистилляция.

Ректификация. Сущность процесса. Варианты проведения периодической ректификации. Непрерывная ректификация бинарных смесей. Принцип работы ректификационной колонны. Конструкции конденсаторов и кипятильников. Схема и расчёт материальных потоков. Расчёт внутренних материальных потоков в колонне непрерывного действия. Расчёт укрепляющей части колонны. Рабочая линия. Минимальное флегмовое число. Выбор рабочего флегмового числа. Расчёт отгонной колонны. Рабочая линия процесса. Характерные точки пересечения этой линии. Определение числа тарелок и основных размеров колонны. Тепловой расчёт ректификационной колонны непрерывного действия. Ректификация Влияние агрегатного состояния исходной смеси на работу ректификационной колонны. Уравнение тарелки питания. Определение высоты укрепляющей и отгонной части колонны. Разделение бинарных смесей с применением разделяющего агента. Экстрактивная ректификация. Азеотропная ректификация. Разделение бинарных азеотропообразующих смесей в двух колоннах с разными давлениями. Ректификация многокомпонентных смесей. Число колонн и варианты схем разделения. Расчёт числа ступеней в колонне методом «от тарелки к тарелке».

Экстракция. Основные понятия. Требования к экстрагенту. Схемы проведения процессов. Конструкции экстракторов. Расчёты процессов однократной, порционной (дробной) и противоточной экстракции при полной взаимной нерастворимости разбавителя и экстрагента, при  $m = \text{const}$  и  $m \neq \text{const}$ . Распределение экстрагента по ступеням при  $m = \text{const}$ . Расчёт процессов экстракции при частичной взаимной растворимости разбавителя и экстрагента. Равновесие в треугольной диаграмме. Однократная и порционная экстракции. Расчёт числа ступеней при непрерывной противоточной экстракции.

Растворение и выщелачивание (экстракция из твёрдых тел). Конструкции аппаратов и схемы проведения процессов. Физический смысл и

построение. Линии нижнего продукта (потока). Расчёт процессов однократного, порционного и противоточного выщелачивания.

Сушка влажных материалов. Условия сушки. Свойства влажного воздуха. Влагосодержание и относительная энтальпия влажного воздуха. Условный удельный объём влажного воздуха. Диаграмма I – x. Её построение. Свойства влажного материала. Относительная влажность. Теплоёмкость материала. Конструкции сушилок. Материальный и тепловой расчёт сушилок. Параметры процесса сушки. Теоретическая сушилка и построение реальных процессов сушки. Полный расход теплоты в сушилке и его распределение между калорифером и сушильной камерой. Многозональная сушилка. Расход теплоты. Порядок расчёта реальных сушилок. Расчёт сушилок с рециркуляцией отработанного воздуха. Схема установки и изображение процесса сушки материалов инертным газом. Сушка топочными газами. Схема установки. Алгоритм расчёта. Расчёт основных потоков.

Кривые кинетики сушки. Равновесие при сушке. Особенности массопереноса при сушке твёрдых материалов. Внутренняя и внешняя задачи, потоковые задачи. Общие подходы к решению задач. Расчёт размеров сушилок с псевдооживленным слоем (ПС) в условиях внешней задачи. Оценка величины поверхности массообмена. Средняя движущая сила процесса сушки. Условие перехода внешней задачи в балансовую. Задачи эксплуатации и проектирования. Расчёт размеров сушилок с ПС в условиях внутренней задачи. Кривые изменения влажности материала от радиуса при разных временах высушивания. Граничные условия. Определение средней влажности в отдельно взятой частице. Определение средней влажности уходящих из ПС частиц. Задачи эксплуатации и проектирования.

Адсорбция и ионный обмен. Равновесие при адсорбции и ионном обмене. Конструкции адсорберов. Расчёт адсорберов с ПС. Непрерывная адсорбция в условиях балансовой задачи. Расчёт одноступенчатого и многоступенчатого адсорберов в условиях внутренней задачи. Определение к.п.д. ступени в условиях балансовой и внутренней задач. Расчёт адсорберов непрерывного действия с движущимся слоем сорбента. Объёмный коэффициент массопередачи. Периодическая адсорбция. Идеальная и реальная адсорбция. Уравнение Шилова. Экспериментальное определение констант уравнения Шилова. Теоретический расчёт скорости движения фронта сорбции и времени потери защитного действия слоя. Динамическая ёмкость сорбента.

Кристаллизация. Основные понятия и классификация процессов кристаллизации. Фазовое равновесие для однокомпонентных и бинарных смесей. Фракционная кристаллизация. Схема установки и расчет процесса однократной фракционной кристаллизации бинарных смесей. Кристаллизация из растворов. Способы получения пересыщенных растворов. Выпарные кристаллизаторы с частичной отгонкой растворителя. Технологические схемы процесса перекристаллизации из раствора.

Мембранные процессы. Общие понятия и классификация процессов мембранных процессов. Основные механизмы переноса вещества через мембраны. Конструкции мембранных ячеек. Основы расчёта процессов мембранного разделения при различных структурах потоков в надмембранном и подмембранном пространствах.

## 5. Измельчение и классификация твёрдых материалов

Способы измельчения. Затраты энергии. Основной принцип измельчения. Схемы. Щековые дробилки. Угол захвата. Производительность. Предельное число качений. Расход энергии. Валковые дробилки. Условие захвата. Размеры измельчаемых кусков. Производительность. Мощность. Шаровые мельницы. Принцип действия. Число оборотов. Мощность. Коллоидные мельницы.

Классификация сыпучих материалов. Критерий качества разделения. Грохочение. Конструкции грохотов. Разделение в тяжелых средах. Гидравлическая и пневматическая классификация. Отстойник – классификатор. Классификатор резино – тканевых изделий. Инерционные воздушные сепараторы. Простой воздушный сепаратор. Воздушный проходной сепаратор. Сепарация на основе сегрегации. Гидродинамическая дистилляция и гидродинамическая ректификация.

## Литература

1. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс: [Электронный ресурс]: в 2 кн./ В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов, А.Л. Таран и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. 5-е изд. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 1758 с.
2. Айнштейн В.Г., Захаров М.К., Носов Г.А. и др. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии.//М.: Универсальная книга; Логос; Физматкнига, 2006. Кн. 1. 912 с, Кн. 2. 872 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973.
4. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, 1987.
5. Кафаров В.В. Основы массопередачи. М.: Высш. шк., 1979.
6. Процессы и аппараты химической технологии. Т. 1: Основы теории процессов химической технологии / Д.А. Баранов, А.В. Вязьмин, А.А. Гухман и др.; Под ред. А.М. Кутепова. М.: Логос, 2001.
7. Процессы и аппараты химической технологии. Т. 2: Механические и гидромеханические процессы / Д.А. Баранов, В.Н. Блиничев, А.В. Вязьмин и др.; Под ред. А.М. Кутепова. М.: Логос, 2001.
8. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969.

9. Нелинейная динамика и термодинамика необратимых процессов в химии и химической технологии / Э.М. Кольцова, Ю.Д. Третьяков, Л.С. Гордеев, А.А. Вертегел. М.: Химия, 2001.

10. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975.

11. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987.

12. Лыков А.В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967, 599 с.

13. Процессы и аппараты химической технологии. Общий курс: [Электронный ресурс]: в 2 кн./ В.Г. Айнштейн, М.К. Захаров, Г.А. Носов, А.Л. Таран и др.; Под ред. В.Г. Айнштейна. 5-е изд. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. 1758 с.

Директор Института тонких  
химических технологий



М.А. Маслов