



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»  
30 октября 2023 г. (протокол № 12)

**УТВЕРЖДЕНО**

приказом ректора ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
30 октября 2023 г. № 204/3-04

**ПРОГРАММА**

вступительного испытания для поступающих в 2024 году в аспирантуру  
на научную специальность

**2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий**  
по дисциплине, соответствующей научной специальности 2.6.13

**ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ**

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, способу организации процесса).

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

3. Единые кинетические закономерности ПАХТ (ЕКЗ). Скорость, движущая сила и сопротивление (кинетический коэффициент скорости). ЕКЗ гидромеханических процессов. ЕКЗ процессов теплопередачи. ЕКЗ процессов массопередачи (диффузионных процессов).

1. 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.

2. Теория подобия. 1-я теорема подобия. 2-я теорема подобия. Получение критериев подобия из дифференциальных уравнений: операция приведения дифференциальных уравнений.

3. Анализ размерностей физических величин. Получение критериев подобия методом анализа размерностей. Критерии гидромеханического подобия.

4. Виды гидромеханических процессов. Примеры. Задачи гидромеханики и методы их решения. Пример интегрирования уравнений Навье - Стокса для течения в трубах.

5. Течение в трубах. Режимы движения жидкостей. Сопротивление трению. Скоростной напор. Общее сопротивление сети. Примеры местных сопротивлений.

6. Виды дисперсных систем. Методы их получения и разделения. Гидрокинетика осаждения. Расчет отстойников и осадительных камер. Конструкции отстойников для пылей, суспензий и эмульсий.

7. Фильтрация и его применение в промышленности. Виды осадков. Фильтрующие перегородки. Гидрокинетика фильтрации при постоянном давлении и при постоянном расходе. Уравнение Рутса. Конструкции фильтровальной аппаратуры для жидкостей и газов.

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

9. Взвешенный («кипящий») слой и его применение в промышленности. Примеры. Особенности гидрокинетики. Расчет. Разновидности аппаратов со взвешенным слоем.

10. Тепловые процессы. Разновидности. Одно- и многостадийные тепловые и холодильные процессы. Применение в промышленности.

11. Способы переноса тепла. Теплопроводность. Закон Фурье. Пример интегрирования дифференциального уравнения теплопроводности. Конвективный теплоперенос. Закон Ньютона. Коэффициенты теплоотдачи. Тепловое излучение. Закон Стефана-Больцмана.

12. Способы нагрева и охлаждения. Требования к теплоносителям и хладагентам. Сравнение достоинств и недостатков различных способов нагрева/охлаждения

13. Основное уравнение теплопередачи. Коэффициенты теплоотдачи и теплопередачи. Термические сопротивления. Средняя движущая сила теплопередачи.

14. Критериальные уравнения теплоотдачи для процессов без изменения агрегатного состояния теплоносителя. Уравнение Крауссольда. Критериальные уравнения теплоотдачи для процессов с изменением агрегатного состояния теплоносителя. Уравнение Нуссельта.

15. Конструкции и расчет теплообменников. Поверхностные теплообменники (рекуператоры). Теплообменники с теплоаккумулирующей насадкой (регенераторы). Теплообменники смешения.

16. Выпаривание. Выпарные аппараты и выпарные установки. Применение в промышленности. Общая и полезная разность температур при выпаривании. Коэффициенты теплоотдачи по корпусам выпарных установок. Распределение полезной разности температур по корпусам выпарных установок.

17. Расчет и оптимизация выпарных установок. Материальный баланс. Тепловой баланс. Оптимизация по числу корпусов. Конструкции выпарных аппаратов с естественной и принудительной конвекцией.

18. Диффузионные (массообменные) процессы. Классификация. Диффузионное равновесие. Способы и выбор выражения концентраций. Способы описания диффузионного равновесия (табличный, графический, аналитический). Фазовые диаграммы равновесия.

19. Кинетика и динамика диффузионных процессов. Дифференциальные уравнения диффузии в движущейся и в неподвижной среде. Методы решения дифференциальных уравнений в частных производных.

20. Единые кинетические закономерности процессов переноса. Основное уравнение массопередачи. Общий коэффициент массопередачи и частные коэффициенты массоотдачи. Фазовые диаграммы и рабочие линии. Уравнения рабочих линий массообменных процессов. Средняя движущая сила диффузионных процессов.

21. Расчет диффузионных процессов и аппаратов на базе основного уравнения массопередачи. Расчет с использованием числа единиц переноса (ЧЕП) и высоты единицы переноса (ВЕП). Расчет диффузионных аппаратов на базе числа теоретических тарелок

22. Абсорбция. Хемосорбция. Десорбция. Сущность и применение. Диффузионное равновесие при абсорбции. Закон Генри. Технологические схемы абсорбционных установок. Конструкции абсорбционных аппаратов.

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

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

25. Ректификация. Сущность и применение. Фазовая диаграмма. Диффузионное равновесие при ректификации. Идеальные растворы. Закон Рауля. Смеси с азеотропом. Возможности ректификационного разделения. Разновидности ректификационных процессов

26. Ректификационная установка непрерывного действия. Уравнения рабочих линий. Расчет ректификационных колонн. Материальный и тепловой баланс. Флегмовое число. Расход хладагента в дефлегматоре. Расход теплоносителя в кубе (кипятильнике).

27. Адсорбционные процессы. Разновидности. Сущность и применение. Промышленные адсорбенты. Диффузионное равновесие при адсорбции. Периодическая адсорбция. Рабочий цикл. Уравнение Шилова. Адсорбционные установки непрерывного действия.

28. Сушильные процессы. Сущность и применение. Свойства влажного воздуха. Диаграмма Рамзина. Виды связи влаги с материалом. Схемы воздушной конвективной сушки. Материальный и тепловой баланс. Теоретическая и реальная сушка.

29. Кинетика сушки. Первый и второй период сушки. Время сушки. Расчет сушилок. Основные

типы и конструкции сушилок. Сушилки для жидкотекучих, пастообразных и зернистых материалов. Сушилки для кусковых, штучных и ленточных материалов.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ВСТУПИТЕЛЬНЫМ ИСПЫТАНИЯМ**

### **РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА**

#### **Основная литература**

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии.- М.: Альянс, 2008. - 753 с.
2. Комиссаров, Ю.А. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие/ Ю.А. Комиссаров, А.С. Гордеев, Д.П. Вент. – М.: Химия, 2011. – 1229 с.

#### **Дополнительная литература**

1. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: Т. 1. Основы теории процессов химической технологии / Под ред. А.М. Кутепова.- М.: Логос, 2000.- 480 с.
2. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: Т. 2. Механические и гидромеханические процессы / Под ред. А.М. Кутепова.- М.: Логос, 2001.- 600 с.
3. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу "Процессы и аппараты химической технологии": учебное пособие для вузов / В. Ф. Фролов. - СПб.: ХИМИЗДАТ, 2003. - 608с.
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.

#### **Периодическая литература**

Журнал «Теоретические основы химической технологии»

Журнал «Химическое и нефтегазовое машиностроение»

Журнал «Известия вузов. Серия «Химическая технология»

#### **Internet-ресурсы**

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU <https://elibrary.ru/>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Электронная библиотечная система «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru>

База данных «Электронно-библиотечная система «ЭБС ЮРАЙТ» <https://www.biblio-online.ru>

База данных электронно-библиотечной системы ТГТУ <http://elib.tstu.ru>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Программа вступительных испытаний разработана кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность».