



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ:

проректор по научной работе

Волокитин О.Г.

20 16 г.

### **ПРОГРАММА**

**вступительного испытания по специальной дисциплине для поступающих  
на программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре  
по группе научных специальностей 2.6 «Химические технологии, науки о  
материалах, металлургия»**

**Научная специальность 2.6.13 «Процессы и аппараты химических  
технологий»**

Томск 2025

Программа вступительного испытания предназначена для поступающих на программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по группе научных специальностей 2.6 «Химические технологии, науки о материалах, металлургия» на научную специальность 2.6.13 «Процессы и аппараты химических технологий»

Составитель: д.т.н., заведующий кафедрой  
ОТиОС  Хромова Е.М.

Руководитель д.т.н., заведующий кафедрой  
ООП: ОТиОС  Хромова Е.М.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Целью вступительного испытания является определение уровня подготовки поступающих и оценки их способности для дальнейшего обучения по программе подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре в соответствии с установленными федеральными государственными требованиями к структуре программ аспирантуры, условиям их реализации, срокам освоения этих программ, с учетом различных образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов.

1.2 Организация и проведение вступительного испытания осуществляется в соответствии с Правилами приема, действующими на текущий год поступления.

1.3 Вступительное испытание проводится на русском языке.

1.4 Вступительное испытание по специальной дисциплине проводится как в устной, так и в письменной форме, с сочетанием указанных форм или в иных формах (в форме собеседования), в соответствии с перечнем тем и вопросов, установленных данной Программой.

1.5 В ходе экзамена могут задаваться вопросы, связанные с избранной или предполагаемой темой диссертационного исследования. Подготовка к ответу составляет не более одного академического часа (60 минут).

1.6 Максимальное количество баллов, полученных за ответы на экзамене, составляет 5 баллов. Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания составляет 3 балла.

1.7 Критерии оценивания ответов поступающего:

| Критерий оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                             | Начисляемый балл |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Получен полный ответ. Поступающий свободно владеет терминологией и понятийным аппаратом области знаний; продемонстрировано знание вопроса и самостоятельность мышления; сформированы навыки анализа действующей теоретической и методологической базы, а также умения применять их на практике. | 5                |
| Получен ответ с погрешностями и недочетами. Поступающий владеет основным материалом с рядом заметных замечаний; владеет терминологией и понятийным аппаратом.                                                                                                                                   | 4                |
| Получен неполный ответ. Поступающий владеет минимальным необходимым материалом с рядом замечаний; ответы неконкретные, слабо аргументированные; владеет минимально необходимой терминологией; сформированы минимально необходимые навыки.                                                       | 3                |
| Получен неправильный ответ. Поступающий владеет теоретическим материалом недостаточно, необходима дополнительная подготовка; неверные формулировки; поступающий не владеет терминологией.                                                                                                       | 2                |
| Ответ не получен, отсутствие понимания заданного вопроса; поступающий отказался от устной части вступительного испытания.                                                                                                                                                                       | 1                |

1.8 Результаты проведения вступительного испытания оформляются протоколом, в котором фиксируются вопросы. На каждого поступающего ведется отдельный протокол.

1.9 Вступительное испытание проводится экзаменационной комиссией, действующей на основании приказа ректора.

1.10 Итоговая оценка за экзамен определяется как средний балл, выставленный всеми присутствующими членами экзаменационной комиссии.

## ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ И РАЗДЕЛОВ ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

### Раздел 1. Основы гидромеханических процессов

1. Общие представления о жидкостях как сплошных средах.
2. Идеальные и реальные жидкости. Капельные и упругие жидкости.
3. Объемные и поверхностные силы, действующие на жидкость.
4. Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера).
5. Уравнение движения вязкой несжимаемой жидкости (уравнение Навье-Стокса).
6. Вязкостные свойства сплошных сред.
7. Методы теории подобия.
8. Скорость осаждения твердых частиц под действием сил тяжести (отстаивание) и методы ее расчета.
9. Конструкции отстойных аппаратов для разделения суспензий, эмульсий и очистки запыленных газов и методы их расчета.
10. Фильтрация суспензий и газов.
11. Виды осадков и фильтрованных перегородок.
12. Уравнение фильтрации для аппаратов с постоянным перепадом давлений и постоянной скоростью фильтрации.
13. Аппараты для фильтрации и методы их расчета.
14. Центробежное отстаивание и центробежное фильтрование.
15. Центробежный фактор разделения. Классификация центрифуг.
16. Разделение суспензий и эмульсий в гидроциклонах.
17. Очистка газов от пыли и центробежных пылеуловителей.
18. Методы расчета аппаратов для разделения в поле центробежных сил.
19. Электрофильтры, принцип работы, конструкции и методы их расчета.
20. Применение процессов перемешивания в жидких средах в химической технологии.
21. Методы перемешивания сред. Силы, участвующие в процессе перемешивания.
22. Типы перемешивающих устройств. Аппаратурное оформление и методы расчета процессов перемешивания.
23. Эффективность и интенсивность перемешивания.
24. Основы гидравлического расчета химико-технологических аппаратов и трубопроводов.
25. Типы насосов, вентиляторов и компрессоров, применяемых в химической технологии, их характеристики и методы расчета.

### Раздел 2. Процессы теплопереноса

1. Теплообмен между жидкостью (газом) и поверхностью.
2. Безразмерная форма уравнения переноса теплоты и оценка порядка его членов. Толщина теплового пограничного слоя.
3. Представление решения уравнения переноса теплоты в критериальной форме.
4. Некоторые эмпирические соотношения для расчета коэффициентов теплоотдачи при сохранении агрегатного состояния теплоносителя.
5. Теплоотдача с изменением агрегатного состояния теплоносителя. Кипение жидкостей. Конденсация пара.
6. Основы переноса теплоты излучением. Методы интенсификации процессов теплоотдачи.
7. Теплоотдача через плоские (одно- и многослойные) стенки при постоянных температурах теплоносителей.

8. Определение движущей силы теплопередачи для тепловых случаев движения теплоносителей в теплообменниках (прямоток, противоток, перекрестный ток, смешанный ток).
9. Классификация промышленных теплоносителей, их сравнительные характеристики и области применения.
10. Схема нагревательных установок. Теплообменные аппараты, их классификации.
11. Устройство типовых теплообменных аппаратов: с трубчатыми поверхностями теплообмена, с плоскими поверхностями, аппараты с очищаемой в процессе работы поверхностью теплообмена, градирни, конденсаторы смешения, регенеративные теплообменники и др.
12. Расчет основных размеров и рациональных режимов работы теплообменников при их проектировании.
13. Расчет выпарных аппаратов. Классификация процесса выпаривания, основные виды выпарных установок.
14. Элементы расчета выпарных аппаратов: материальный и тепловой балансы процесса выпаривания.
15. Определение температурных потерь и расчет температуры кипения растворов.
16. Способы распределения полезной разности температур по корпусам и оптимизация числа корпусов в многокорпусных выпарных установках.
17. Методы интенсификации процессов выпаривания. Выпаривание с применением теплового насоса.
18. Применение процессов получения искусственного холода в химической технологии и их классификация.
19. Теоретические основы получения искусственного холода.
20. Холодильные агенты, их характеристики и области применения.
21. Парокомпрессионные установки.

### **Раздел 3. Массообменные процессы**

1. Классификация массообменных процессов химической технологии, как методов разделения многокомпонентных систем.
2. Роль массообменных процессов в решении задачи охраны окружающей среды.
3. Общие сведения о процессах переноса массы. Основные понятия. Механизмы переноса.
4. Общие уравнения переноса вещества в многофазных многокомпонентных средах, начальные и граничные условия.
5. Существующие подходы к описанию массообменных процессов в дисперсных системах, основанные на рассмотрении элементарных актов массообмена.
6. Инженерные методы расчета массообменных процессов и аппаратов химической технологии.
7. Расчет размеров массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз на основе коэффициентов массопередачи, высоты единицы переноса (ВЕП), высоты эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ).
8. Расчет размеров массообменных аппаратов со ступенчатым контактом фаз.
9. Равновесие жидкость-пар идеальных смесей. Закон Рауля. Расчет равновесия неидеальных смесей в системе жидкость-пар. Константа фазового равновесия, летучесть, их связь с коэффициентами активности.
10. Равновесие в системах жидкость-газ. Закон Генри. Равновесие в многокомпонентных системах.
11. Равновесие в системах с химическим взаимодействием.
12. Равновесие в системах жидкость-жидкость. Коэффициент распределения, коэффициент селективности, их расчет по величинам коэффициентов активности.

13. Общая характеристика процесса абсорбции и области ее промышленного применения. Аппаратурное оформление абсорбционно- десорбционных процессов. Методы десорбции.
14. Методы интенсификации абсорбционных процессов. Общая характеристика процесса.
15. Виды процессов ректификации и дистилляции и области их применения. Принципиальная схема ректификационных установок.
16. Аппаратурное оформление процесс ректификации. Расчет бинарной ректификации в колонне непрерывного и периодического действия.
17. Расчет ректификации многокомпонентных смесей. Математическое описание процесса.
18. Специальные методы процесса ректификации: азеотропная, экстрактивная, ректификация с химическим взаимодействием.
19. Методы интенсификации процесса ректификации. Способы разделения, основанные на различном составе жидкости и пара.
20. Общая характеристика процесса экстракции и области его промышленного применения.
21. Массообмен между каплей и потоком жидкости при различных числах Рейнольдса и Пекле. Влияние внешнего физического воздействия на массообмен между каплей и окружающей жидкостью.
22. Технологические схемы процесса экстракции (схема с противоточным движением фаз, с перекрестным движением фаз, с рециркуляцией части растворителя).
23. Аппаратурное оформление процесса экстракции. Графический расчет экстракции. Методы интенсификации процесса экстракции.
24. Общая характеристика процесса сушки и области его промышленного применения. Виды высушиваемых материалов, используемых в химической и смежных отраслях промышленности.
25. Классификация процессов сушки. Равновесие в системах капиллярно-пористый влажный материал – сушильный агент.
26. Движущие силы обуславливающие перенос вещества и теплоты в капиллярно-пористых влажных материалах.
27. Экстремальные методы исследования процесса сушки.
28. Аппаратурное оформление процесса сушки твердых, дисперсных, пастообразных, жидких и др. материалов.
29. Методы расчета сушильных аппаратов. Методы интенсификации процессов сушки.
30. Общая характеристика процесса адсорбции и области его применения. Описание явления адсорбции на молекулярном уровне. Изотермы адсорбции.
31. Процессы переноса в зерне адсорбента. Аппаратурное оформление процесса адсорбции.
32. Теоретический анализ и расчет процесса адсорбции в стационарном, движущемся и взвешенном слоях. Методы интенсификации процесса адсорбции.
33. Общая характеристика процесса растворения и области его промышленного применения. Кинетика растворения одиночной частицы, массовое растворение.
34. Аппаратурное оформление процесса растворения. Методы расчета аппарата для растворения твердых материалов при различной гидродинамической структуре потоков. Методы интенсификации процесса растворения.
35. Общая характеристика процесса кристаллизации и области его промышленного применения. Основные равновесные состояния, используемые при расчете процесса кристаллизации.
36. Диаграмма состояния раствор (расплав, пар) – кристаллическая фаза для однокомпонентных и многокомпонентных смесей. Образование зародышей.

37. Термодинамические основы образования кристаллической фазы. Механизм зародышеобразования (гомогенное, гетерогенное зародышеобразование, эпитаксия).
38. Теория кинетики зародышеобразования. Кинетические теории роста кристаллов.
39. Тепло- массообмен растущего кристалла с окружающим потоком раствора. Методы интенсификации процесса кристаллизации.
40. Общая характеристика процесса ионного обмена и область его промышленного применения. Равновесие в бинарных и многокомпонентных системах при ионном обмене.
41. Процессы переноса в зерне ионита. Механизм и особенности переноса вещества при ионном обмене.
42. Постановка и решение внешнEDIффузионной и внутрEDIффузионной задачи и ионного обмена.
43. Технологические схемы установок для осуществления процесса ионного обмена. Аппаратное оформление процессов ионного обмена.
44. Расчет процесса ионного обмена в стационарном, движущемся и взвешенном слоях.
45. Методы интенсификации процесса ионного обмена. Общая характеристика мембранных процессов и области их промышленного применения.
46. Механизм массопереноса в мембранных процессах. Массоперенос в мембранах. Массоперенос в фазе раствора, контактирующего с мембраной. Концентрационная поляризация.
47. Способы снижения концентрационной поляризации.
48. Влияние внешних факторов (давление, температура, концентрация, акустических колебаний и т.д.) на мембранные процессы.
49. Типы мембран. Конструкции мембранных аппаратов.
50. Методы расчета мембранных процессов и аппаратов. Пути интенсификации мембранных процессов.

#### **Раздел 4. Химические процессы**

1. Кинетика химических процессов.
2. Методы расчета химических реакторов идеального перемешивания гомогенных сред.
3. Методы расчета реакторов идеального вытеснения.
4. Методы расчета реакторов с гетерогенными связями

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ

### Основная литература

1. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: В 5 т. 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, 2000. – 480 с.
2. Процессы и аппараты химической технологии. Явления переноса, макрокинетика, подобие, моделирование, проектирование: В 5 т. 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. – 600 с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1973. – 752 с.
4. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1987. – 496 с.
5. Романков П.Г., Фролов В.Ф., Флисюк О.М., Курочкина М.И. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии. – С-Пб.: Химия, 1993. – 496 с.
6. Скобло А.И., Молоканов Ю.К., Владимиров А.И., Щелкунов В.А. Процессы и аппараты нефте- и газопереработки и нефтехимии. – М.: ООО «НедраБизнесцентр», 2000. – 677 с.
7. Гухман А.А. Введение в теорию подобия. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.
8. Кутателадзе С.С. Анализ подобия в теплофизике. – Новосибирск: Наука, 1982. – 280 с.
9. Кутепов А.М., Латкин А.С. Вихревые процессы для модификации дисперсных систем. – М.: Наука, 199. – 250 с.
10. Жужиков В.А. Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. – М.: Химия, 1980. – 400 с. 11. Соколов В.И. Центрифугирование. – М.: Химия, 1976. – 407 с.

### Дополнительная литература

1. Кутепов А.М., Полянин А.Д., Запрянов З.Д. и др. Химическая гидродинамика. – М.: Бюро Квантум, 1996.
2. Кольцова Э.М., Третьяков Ю.Д., Гордеев Л.С., Вертегел А.А.. Нелинейная динамика и термодинамика необратимых процессов в химии и химической технологии. – М.: Химия, 2001.
3. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. – М.: Химия, 1975.
4. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. – М.: Наука, 1987.
5. Теория тепломассообмена / Под ред. А. И. Леонтьева. – М.: Высш. шк., 1979.