

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Российский химико-технологический университет имени  
Д.И. Менделеева»**

**«УТВЕРЖДАЮ»**

**Проректор по науке  
РХТУ им. Д.И. Менделеева**



**А.А. Щербина**

**«14» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.**

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий**

Москва 2022 г

Handwritten signature or initials in blue ink.

Программа составлена Глебовым Михаилом Борисовичем, д.т.н., профессором, профессором, заведующим кафедрой кибернетики химико-технологических процессов.

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры кибернетики химико-технологических процессов « 17 » мая 2022 г. протокол № 9.

## **Общие положения**

Программа вступительных испытаний по научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий разработана учетом требований к поступающим, определёнными правилами приема.

Цель проведения экзамена - оценка уровня знаний поступающих в области научной специальности 2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий отбора наиболее подготовленных поступающих для обучения по программам подготовки научных и научно- педагогических кадров в аспирантуре.

Задачей вступительного испытания в аспирантуру является оценка уровня владения специальной дисциплиной, в том числе знаниями в области исследования, расчетов и моделирования механических, гидромеханических, теплообменных, массообменных и реакторных процессов.

### **Разделы программы**

1. Форма проведения вступительного испытания.
2. Язык проведения вступительного испытания.
3. Содержание вступительного испытания.
4. Структурированное по разделам (областям) содержание вступительного испытания.
5. Шкала оценивания и фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания вступительного испытания
6. Типовые задания, вопросы, иные материалы для проведения вступительного испытания.
7. Рекомендуемая литература для подготовки к вступительному испытанию.

## **1. Форма проведения вступительного испытания.**

Вступительное испытание проводится в устной форме.

## **2. Язык проведения вступительного испытания.**

Язык проведения экзамена – русский.

## **3. Содержание вступительного испытания.**

1. Оценка соответствия содержания ответа вопросу в экзаменационном билете, оценка владения понятийным аппаратом, аргументированность выводов и доказательств, ясность, четкость и логика изложения материала.

2. Применение полученных теоретических знаний к решению практических вопросов химической технологии, способность к аналитической деятельности; системность мышления и систематичность знания, гибкость и самостоятельность мышления.

## **4. Структурированное по разделам (предметным областям) содержание вступительного испытания.**

### **1. Математическое моделирование как современный метод анализа**

Сущность и цели математического моделирования объектов химической технологии.

### **2. Типовые модели структуры потоков в аппаратах непрерывного действия**

Модель идеального смешения. Условия реализуемости принятых допущений в приложении к аппаратам химической технологии.

Модель идеального вытеснения. Сравнительная оценка идеальных моделей. Учет рассеяния по времени пребывания. Ячеечная модель.

Диффузионная модель. Комбинированные (многопараметрические) модели. Байпасирование. Последовательное и параллельное включение ячеек идеального смешения и вытеснения. Модель с застойной зоной.

3. Понятие форм и размеров твердых частиц, гранулометрического состава, сыпучести, сил взаимодействия между частицами. Движение оживленных твердых дисперсных систем. Псевдооживленные слои.

Механические процессы. Процессы измельчения и измельчающие машины. Классификация процессов и машин. Типы дробилок (щековые, конусные, валковые, молотковые и роторные). Типы мельниц (барабанные – центробежные и вибрационные, ударного действия и др.). Смесители сыпучих материалов, кинетика процессов смешивания.

#### 4. Тепловые процессы

Основные уравнения процессов. Классификация используемых аппаратов. Теплообменники с передачей тепла через стенку. Кипятильники. Основные переменные процесса. Теплообменники смешивания. Теплообменники с идеальной изоляцией, теплообменники с потерями тепла через стенку. Математические модели кожухотрубных теплообменников. Выпарные аппараты. Основные уравнения. Теплообмен излучением. Законы теплового излучения.

#### 5 Диффузионные процессы

Математическое описание равновесия в многокомпонентных системах. Математическое описание процессов диффузии. Однофазная неподвижная среда. Стационарная диффузия в движущихся средах. Диффузия в многокомпонентных системах.

Модели массопередачи. Пленочные и распылительные колонны. Модели тарельчатых колонн. Модели насадочных колонн.

#### 6. Математические модели сушильных установок

Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдооживленным и движущимся слоем.

#### 7. Математические модели кристаллизационных установок

Описание роста кристаллов и зародышеобразования. Типы используемых кристаллизаторов.

#### 8. Математические модели процессов разделения

Равновесие и массопередача в системах жидкость–жидкость. Типы используемых экстракционных аппаратов. Математические модели колонных экстракторов. Ректификационные и абсорбционные аппараты. Описание

равновесия в системах жидкость–пар, жидкость–газ. Типы ректификационных и абсорбционных аппаратов, их математическое описание.

Общая характеристика мембранных способов разделения смесей. Их классификация. Виды мембран. Описание процесса переноса в мембранах.

#### 9. Гомогенные химические реакторы

Гомогенные изотермические реакторы. Классификация реакторов по гидродинамическому признаку. Реактор периодического действия. Проточный реактор с мешалкой. Каскад реакторов идеального смешения. Реактор с продольным перемешиванием потока (ламинарный и турбулентный режимы). Адиабатические и политропические реакторы.

#### 10. Гетерогенные химические реакторы

Гетерогенные каталитические реакторы, классификация каталитических реакторов. Одно - и многослойные реакторы со стационарным слоем катализатора. Квазигомогенная модель.

Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора.

### 5. Критерии оценки.

Билет состоит из 2 вопросов, каждый из вопросов оценивается в 40 баллов. Ответы на дополнительные вопросы оцениваются в 20 баллов.

Шкала оценивания:

Ответ на вопросы билета	Всестороннее, систематическое и глубокое знание материала, усвоил взаимосвязь основных понятий физической химии	Систематическое и глубокое знание материала, усвоил взаимосвязь основных понятий физической химии	Не систематическое знание материала, не до конца усвоил взаимосвязь основных понятий физической химии	Не систематическое знание материала, практически не усвоил взаимосвязь основных понятий физической химии
Количество баллов	40	30	20	10

## **6. Примерный перечень вопросов для экзамена**

1. Основные гидродинамические величины. Уравнение неразрывности. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса. Течение жидкостей по трубам и каналам. Пленочное течение. Коэффициенты трения.

2. Учет рассеяния по времени пребывания. Ячеечная модель. Вывод уравнения предельного перехода к модели идеального вытеснения. Диффузионная модель. Комбинированные (многопараметрические) модели.

3. Внешняя задача гидродинамики. Обтекание твердых тел. Неподвижные зернистые слои. Гидродинамика псевдооживленных слоев.

4. Уравнения состояния. Энергия. Работа. Теплота. Нулевой и первый законы термодинамики. Основные законы термодинамики. О равновесных и обратимых процессах. Второй и третий законы термодинамики. Эксергия.

5. Теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение. Закон Фурье и уравнение Фурье-Кирхгофа. Теплоотдача и теплопередача. Движущая сила. Коэффициенты теплоотдачи и их расчет при движении в трубах и каналах.

6. Диффузия, закон Фика. Уравнения неразрывности, конвективной диффузии. Движущие силы. Коэффициенты массоотдачи, массопередачи. Материальные балансы, рабочие линии.

7. Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдооживленным и движущимся слоем. Особенности математического описания сушилок.

8. Описание роста кристаллов и зародышеобразования. Типы используемых кристаллизаторов. Математическая модель кристаллизатора с мешалкой.

9. Ректификационные аппараты. Их типы. Описание равновесия в системах жидкость–пар. Расчет ректификационных аппаратов.

10. Равновесие и массопередача в системах жидкость–жидкость. Типы используемых экстракционных аппаратов. Математические модели колонных экстракторов.



11. Общая характеристика мембранных способов разделения смесей. Их классификация. Виды мембран. Описание процесса переноса в мембранах.

12. Гомогенные изотермические реакторы. Классификация реакторов по гидродинамическому признаку. Реактор периодического действия. Проточный реактор с мешалкой. Каскад реакторов идеального смешения.

13. Гетерогенные каталитические реакторы, классификация каталитических реакторов по конструктивному и гидродинамическим признакам. Одно- и многослойные реакторы со стационарным слоем катализатора. Квазигомогенная и гетерогенная модели. Горячие точки в реакторе со стационарным слоем катализатора. Реакторы с псевдооживленным слоем катализатора. Реакторы с движущимся слоем катализатора.

14. Уравнение массоотдачи. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Выражение коэффициента массоотдачи через коэффициенты массоотдачи, (уравнение аддитивности фазовых сопротивлений) средняя движущая сила процессов массотдачи и массопередачи.

15. Адсорбция. Общие сведения о процессе и области его применения. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции.

16. Экстрактивная и азеотропная ректификация. Физико-химические основы этих процессов. Схемы установок для проведения экстрактивной азеотропной ректификации.

17. Число единиц переноса. Высота единиц переноса. Теоретическая ступень изменения концентраций (теоретическая тарелка). Высота, эквивалентная теоретической ступени изменения концентрации.

18. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Равновесие в системе пар-жидкость. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Равновесие в системе газ-жидкость.

19. Выпаривание. Общие сведения о процессе и области его применения. Методы проведения выпаривания. Однокорпусные и многокорпусные выпарные установки.

20. Тепловое излучение. Теплообмен при излучении. Тепловое излучение газов. Конвекция и теплоотдача. Закон теплоотдачи Ньютона (уравнение теплоотдачи). Дифференциальное уравнение конвективного переноса теплоты (уравнение Фурье-Кирхгофа).

## **7. Список рекомендуемой литературы**

1. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973.

2. Плановский А. Н., Николаев П. И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. М.: Химия, 1987.

3. Кафаров В. В. Основы массопередачи. М.: Высш. шк., 1979.

4. 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.

5. 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.

6. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии. Кн. 1, 2 / В. Г. Айнштейн, М. К. Захаров, Г. А. Носов и др. М.: Химия, 1999, 2000.

7. Кафаров В. В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. М.: Химия, 1985.

8. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М.: Высшая школа, 1967.

9. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969.

10. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств. – М.: Издательство Юрайт, 2019.- 403 с.