

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ ИМ. Н.С. КУРНАКОВА
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

(ИОНХ РАН)

«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИОНХ РАН
чл.-корр.РАН В.К. Иванов
2022 г.



ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА

**(для осуществления приема на обучение
по образовательным программам высшего образования –
программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре)**

2.6.13. Процессы и аппараты химических технологий

Москва 2022 г.

I. ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ

Настоящая программа вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 2.6.13. *Процессы и аппараты химических технологий (химические науки)* предназначена для осуществления приема на обучение по образовательным программам высшего образования - программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре и содержит основные темы и вопросы к экзамену, список основной и дополнительной литературы и критерии оценивания.

II. ОСНОВНЫЕ РАЗДЕЛЫ И ВОПРОСЫ К ЭКЗАМЕНУ

1. Гидродинамика

Модель сплошной среды. Уравнение неразрывности. Уравнения Эйлера и Навье-Стокса. 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. Течение жидкостей по трубам и каналам. Ламинарный и турбулентный режимы течения. Масштабные преобразования. Основы теории физического и математического моделирования процессов химической технологии. Критерии подобия в гидродинамике.

2. Типовые модели структуры потоков в аппаратах непрерывного действия

Модель идеального смешения. Вывод дифференциального уравнения модели. Функция отклика модели на стандартные возмущения. Условия реализуемости принятых допущений в приложении к аппаратам химической технологии. Модель идеального вытеснения и идеального перемешивания. Вывод дифференциального уравнения моделей. Время пребывания и вид функций отклика. Сравнительная оценка идеальных моделей. Ячеечная модель. Вывод уравнения предельного перехода к модели идеального вытеснения. Диффузионная модель.

3. Гидромеханические процессы (разделение неоднородных систем)

Внешняя задача гидродинамики. Обтекание твердых тел. Неподвижные зернистые слои. Порозность слоя и средний диаметр частиц. Сопротивление неподвижного слоя (формула Эргана). Псевдооживленный слой. Кривые псевдооживления. Сопротивление псевдооживленного слоя. Вывод формулы Тодеса для скорости начала псевдооживления. Вывод формулы Тодеса для скорости витания одиночной частицы. Осаждение. Фильтрация суспензий.

4. Химическая термодинамика

Система. Состояние системы. Уравнения состояния. Энергия. Работа. Теплота. Нулевой и первый законы термодинамики. Основные законы термодинамики. Равновесные и обратимые процессы. Второй и третий законы термодинамики.

Эксергия.

5. Теплообменные процессы

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. Конденсация и кипение. Поверхностные, смесительные и регенеративные теплообменники. Выпаривание.

6. Массообменные процессы

Диффузия, закон Фика. Уравнения пррывности, конвективной диффузии. Движущие силы. Коэффициенты массоотдачи, массопередачи. Материальные балансы, рабочие линии. Расчет массообменных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. Методы расчета на основе понятия теоретической ступени разделения и на основе коэффициентов массопередачи.

7. Сушка влажных материалов

Условия сушки. Свойства влажного воздуха. Влагосодержание и относительная энтальпия влажного воздуха. Условный удельный объем влажного воздуха. Диаграмма I-x. Её построение. Свойства влажного материала. Относительная влажность. Теплоёмкость материала. Конструкции сушилок. Кинетика сушки. Контактные сушилки. Сушилки со стационарным слоем. Сушилки с псевдооживленным и движущимся слоем. Особенности математического описания сушилок.

8. Адсорбция и ионный обмен

Равновесие при адсорбции и ионном обмене. Конструкции адсорберов. Расчет адсорберов непрерывного действия с движущимся слоем сорбента. Объемный коэффициент массопередачи. Периодическая адсорбция. Идеальная и реальная адсорбция. Уравнение Шилова. Теоретический расчет скорости движения фронта сорбции и времени потери защитного действия слоя. Динамическая ёмкость сорбента.

9. Кристаллизация

Описание роста кристаллов и зародышеобразования. Фракционная кристаллизация. Схема установки и расчет процесса однократной фракционной кристаллизации бинарных смесей. Кристаллизация из растворов. Выпарные кристаллизаторы с частичной отгонкой растворителя.

10. Абсорбция

Равновесие и массопередача в системах жидкость-газ. Абсорбция с рециркуляцией абсорбента. Схема абсорбционно-десорбционной установки.

11. Перегонка и ректификация

Фазовое равновесие жидкость – пар для бинарных смесей. Идеальные смеси с

полной взаимной растворимостью компонентов. Относительная летучесть. Фазовое равновесие реальных жидких бинарных систем. 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. Непрерывная ректификация бинарных смесей. Принцип работы ректификационной колонны. Рабочая линия. Минимальное флегмовое число. Выбор рабочего флегмового числа. Диаграмма Мак-Кэба и Тиле. Определение числа тарелок и основных размеров колонны.

Ректификационные аппараты. Их типы. Расчет ректификационных аппаратов (тарельчатых и с непрерывным контактом фаз).

12. Экстракция

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

13. Мембранные процессы разделения

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

14. Гомогенные химические реакторы

Гомогенные изотермические реакторы. Реактор периодического действия. Проточный реактор с мешалкой. Каскад реакторов идеального смешения. Оптимальное соотношение объемов реакторов в каскаде. Реактор с продольным перемешиванием потока (ламинарный и турбулентный режимы). Выбор типа реактора с учетом селективности реакции. Взаимосвязь устойчивости и селективности.

15. Гетерогенные химические реакторы

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

III. ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

БИЛЕТ № 1

вступительного экзамена по процессам и аппаратам химической технологии

1. Абсорбция газов: физико-химические основы, материальный баланс, аппаратура, области применения.
2. Коэффициент разделения: дефиниция, системы жидкость-пар и жидкость-жидкость.
3. Закон Стокса, установившаяся скорость всплывания капли, пузырька или осаждения твердых частиц, измерение вязкости жидкостей.

IV. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

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. Левеншпиль О. Инженерное оформление химических процессов. М.: Химия, 1969.
7. Дытнерский Ю.И. Мембранные процессы разделения жидких смесей. М.: Химия, 1975.
9. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике. М.: Наука, 1987.

V. КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Уровень знаний поступающих в аспирантуру ИОНХ РАН оценивается по пятибалльной шкале. Вступительное испытание считается пройденным, если абитуриент получил три балла и выше. При отсутствии поступающего на вступительном экзамене в качестве оценки проставляется неявка. Результаты сдачи вступительных экзаменов сообщаются поступающим в день экзамена путем их размещения на сайте и информационном стенде структурного подразделения.

Критерии и показатели оценивания ответа на вступительном экзамене по специальности поступающих в аспирантуру ИОНХ РАН

Вступительный экзамен по специальности в аспирантуру ИОНХ РАН проводится в устной форме по экзаменационным билетам и состоит из 3х вопросов.

| Уровень | Балл | Показатели оценивания ответа |
|-------------------------------|------|--|
| Минимальный уровень знаний | 1 | Отсутствуют ответы на теоретические вопросы. |
| Низкий уровень знаний | 2 | Отсутствует ответ на один из заданных теоретических вопросов, фрагментарный ответ на заданные теоретические вопросы. |
| Средний уровень знаний | 3 | Неполные ответы на заданные теоретические вопросы. |

| | | |
|----------------------------|---|--|
| Достаточный уровень знаний | 4 | Полные ответы заданные теоретические вопросы. |
| Высокий уровень знаний | 5 | Исчерпывающие ответы на все заданные вопросы, свободное владение материалом. |

VI. АВТОРЫ

1. д.т.н., чл.-корр.РАН А.А. Вошкин
2. зав.НОЦ – зав.аспирантурой А.Н. Терехова