



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»  
(СПбГТИ(ТУ))

УТВЕРЖДАЮ

Ректор

 А.П. Шевчик

« 20 »  2022 г.



**ПРОГРАММА**  
вступительных испытаний для приема на обучение по программе  
подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

По дисциплине

**ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Научная специальность

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий

Санкт-Петербург

2022

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Рекомендуемая структура экзамена	3
2	Разделы дисциплины, рассматриваемые в ходе экзамена	3
3	Вопросы к вступительному экзамену	5
4	Литература	7
5	Методические указания по подготовке к вступительному экзамену	8

## 1. Рекомендуемая структура экзамена

- 1.1. Письменный ответ на три вопроса из списка экзаменационных вопросов.
- 1.2. Беседа с членами приемной комиссии по этим вопросам и вопросам, связанным со специальностью и будущим научным исследованием.

## 2. Разделы дисциплины, рассматриваемые в ходе экзамена

Закон сохранения субстанции.

Законы сохранения массы, энергии и количества движения. Режимы течения жидкостей. Основы теории подобия. Критерии подобия. Вывод критериев подобия.

Тепловые процессы

Теплопередача. Тепловой баланс. Перенос теплоты: конвекция, теплопроводность, тепловое излучение. Уравнение конвективной теплопроводности. Уравнения теплоотдачи и теплопередачи. Средняя разность температур. Подобие процессов теплоотдачи. Критериальное уравнение теплоотдачи. Типовые случаи конвективного теплообмена.

Основные конструкции теплообменных аппаратов, их сравнительная характеристика. Основные промышленные теплоносители, их сравнительная характеристика.

Расчет теплообменной аппаратуры.

Выпаривание

Методы проведения выпаривания. Однокорпусные и многокорпусные выпарные установки. Материальный и тепловой балансы однокорпусной и многокорпусной выпарных установок. Оптимальное число корпусов в многокорпусной выпарной установке. Выпаривание с термокомпрессией.

Классификация и конструкции основных типов выпарных аппаратов.

Основы теории массообменных процессов.

Классификация и общая характеристика массообменных процессов. Законы фазового равновесия. Направление протекания массообменных процессов. Молекулярная и конвективная диффузия. Основное уравнение массопередачи. Уравнение массоотдачи.

Материальный баланс и уравнение линии рабочих концентраций. Движущая сила массообменных процессов. Подобие процессов переноса вещества. Расчет массообменных аппаратов.

Абсорбция

Общие сведения о процессе и области его практического применения. Равновесие при абсорбции. Закон Генри. Материальный баланс абсорбции. Уравнение линии рабочих концентраций. Минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента. Схемы абсорбционных установок. Конструкции абсорберов. Расчет абсорберов.

## Ректификация

Принцип ректификации. Схемы установок непрерывной ректификации. Материальный баланс непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнения линий рабочих концентраций. Флегмовое число. Зависимость размеров колонны (высоты и диаметра) и расхода теплоты от величины флегмового числа. Конструкции ректификационных аппаратов. Расчет ректификационных колонн.

## Сушка

Сушка как термодиффузионный процесс. Определение основных параметров процесса сушки. Теоретическая и реальная сушилки. Изображение процесса сушки в диаграмме I-x. Сушильные варианты. Расход воздуха и теплоты на процесс сушки.

### 3 Вопросы к вступительному экзамену

1. Закон трения. Вязкость ньютоновских и неньютоновских жидкостей.
2. Уравнение неразрывности потока. Уравнение расхода. Расчет диаметра трубопровода. Экономически оптимальная скорость движения жидкости и газа в трубопроводах.
3. Дифференциальное уравнение движения ньютоновской жидкости (уравнение Навье - Стокса).
4. Потеря удельной энергии на трение в трубах при ламинарном режиме. Вывод формулы Гагена - Пуазейля.
5. Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости. Его энергетический смысл.
6. Приложения уравнения Бернулли (трубка Пито-Прандтля, диафрагма с острыми краями).
7. Определение расхода энергии на транспортировку жидкостей и газов по трубопроводам. Расчет величины требуемого давления.
8. Теория подобия - основа физического моделирования. Теоремы подобия. Анализ размерностей как метод обработки опытных данных.  
□ - теорема.
9. Вывод критериев гидродинамического подобия. Их физический смысл.
10. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Приложения стационарной теплопроводности.
11. Дифференциальное уравнение переноса в потоке (уравнение Фурье-Кирхгофа).
12. Вывод критериев теплового подобия. Их физический смысл.
13. Теплоотдача без фазовых превращений при свободном и вынужденном движении среды. Общий вид критериальных уравнений.
14. Теплоотдача при кипении жидкостей. Критическая тепловая нагрузка.
15. Теплоотдача при конденсации пара.
16. Общее уравнение теплопередачи. Связь между коэффициентами теплоотдачи и теплопередачи.
17. Средняя разность температур в теплообменных аппаратах. Вывод формулы.
18. Расчет теплообменных аппаратов методом итераций.
19. Методы интенсификации теплопередачи в теплообменных аппаратах.
20. Расчет поверхности теплопередачи и расхода греющего пара в паровом кожухотрубном подогревателе жидкостей.
21. Расчет поверхности теплопередачи и расхода охлаждающей воды в кожухотрубном холодильнике для системы ж-ж.
22. Материальный и тепловой балансы выпарного аппарата.
23. Температура кипения раствора. Общая и полезная разность температур при выпаривании.
24. Многокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой балансы.
25. Конструкции типовых теплообменных аппаратов. Сравнительная характеристика теплообменных аппаратов.

26. Схема однокорпусной вакуум-выпарной установки.
27. Конструкции выпарных аппаратов и их сравнительная характеристика.
28. Промышленные теплоносители, их теплотехническая и технико-экономическая характеристики
29. Схема многокорпусных выпарных установок. Удельный расход греющего пара. Экономически наиболее выгодное число корпусов.
30. Схема установки выпаривания с термокомпрессией вторичного пара.
31. Основные теоретические модели процесса массоотдачи (пленочная, проникновения, диффузионного пограничного слоя).
32. Дифференциальное уравнение конвективно-диффузионного переноса массы.
33. Движущая сила и направление массообменного процесса.
34. Уравнения массоотдачи и массопередачи. Связь коэффициентов массоотдачи и массопередачи.
35. Подобие массообменных (диффузионных) процессов. Общий вид критериального уравнения для расчета коэффициентов массоотдачи.
36. Методы определения общего числа единиц переноса.
37. Расчет насадочных колонн при линейной равновесной зависимости.
38. Расчет насадочных колонн при криволинейной равновесной зависимости.
39. Расчет тарельчатых колонн. Определение высоты и диаметра
40. Выбор насадки. Гидродинамические режимы работы насадочных колонн.
41. Материальный баланс ректификационной колонны непрерывного действия. Уравнения рабочих линий.
42. Тепловой баланс ректификационной колонны. Определение расходов греющего пара и охлаждающей воды.
43. Влияние расхода флегмы на движущую силу процесса, на диаметр и высоту ректификационной колонны, на расходы греющего пара и охлаждающей воды.
44. Коэффициент обогащения тарелки.
45. Экстрактивная и азеотропная ректификации.
46. Конструкции тарелок массообменных аппаратов и их сравнительная характеристика.
47. Типы насадок и их сравнительная характеристика.
48. Схема ректификационной установки непрерывного действия.
49. Схема непрерывно действующей абсорбционно-десорбционной установки.
50. Теоретически минимальный расход жидкости на орошение абсорбционной колонны. Оптимальный расход абсорбента.
51. Теоретически минимальное и оптимальное флегмовые числа.

## 4 Литература

### основная

1. Фролов, В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии»: учебное пособие для вузов / В.Ф. Фролов. — 2-е изд. — СПб.: Химиздат, 2008. — 608 с.
2. Романков, П.Г. Методы расчета процессов и аппаратов химической технологии (примеры и задачи): учебное пособие для вузов / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов, О.М. Флисюк. — СПб.: Химиздат, 2010. — 544 с.
3. Процессы и аппараты химической технологии. Лабораторный практикум: учебное пособие / О.М. Флисюк [и др.]. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2010.- 142 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию / С.Г. Борисов [и др.]; под редакцией Ю.И. Дытнерского. — 4-е изд.— М.: Альянс, 2008.— 496 с.

### дополнительная

1. Моделирование технологических процессов: компьютерный практикум / О.М. Флисюк [и др.]. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2007. — 46 с.
  2. Волжинский, А.И. Ректификация. Колонные аппараты с ситчатыми тарелками: учебное пособие / А.И. Волжинский, А.В.Марков. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2009.— 68 с.
  3. Волжинский, А.И. Ректификация. Колонные аппараты с жалюзийно-клапаннми тарелками: учебное пособие / А.И. Волжинский, А.В.Марков. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012.— 37 с.
  4. Проектирование однокорпусной выпарной установки непрерывного действия: учебное пособие / О.М. Флисюк, В.Ф. Фролов, В.В. Фомин, Е.И. Борисова. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.— 47 с. (ЭБ)
  5. Банных, О.П. Расчет теплообменных аппаратов: метод. указания к курсовому проектированию/ О. П. Банных, Е.И. Борисова, О.В. Муратов. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2014.— 56 с. (ЭБ)
- Банных, О.П. Расчет трубчатых теплообменников: метод. указания к курсовому проектированию/ О. П. Банных, Е.И. Борисова. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2015.— 55 с. (ЭБ)

### вспомогательная

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов / А.Г. Касаткин. — 12-е изд.— М.: Альянс, 2005. -750 с.
2. Волжинский, А.И.. Ректификация. Справочные данные по равновесию пар-жидкость: метод. указания к курсовому проектированию / А.И. Волжинский, В.А. Константинов. — СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2003. — 23 с.

## 5 Методические указания по подготовке к вступительному экзамену

При подготовке к вступительному экзамену поступающим в аспирантуру лучше всего ориентироваться на лекции, прочитанные преподавателями кафедры по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии». Материал, законспектированный на лекциях, необходимо дополнять сведениями из литературных источников, представленных в "Рабочей программе". По каждой из тем, приведенных в рабочей программе дисциплины «Процессы и аппараты химической технологии», следует сначала прочитать рекомендованную литературу и, при необходимости, составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, таких как [www.rambler.ru](http://www.rambler.ru), [www.yandex.ru](http://www.yandex.ru), [www.google.ru](http://www.google.ru), [www.yahoo.ru](http://www.yahoo.ru) и использовать материалы сайтов и обучающих программ, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Например, рекомендуется использование следующих сайтов:

1. Библиотека Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета) университета - <http://bibl.lti-gti.ru>
2. Российская государственная библиотека - [www.rsl.ru](http://www.rsl.ru)
3. Российская национальная библиотека - [www.nlr.ru](http://www.nlr.ru)
4. Библиотека Академии наук - [www.rasl.ru](http://www.rasl.ru)
5. Библиотека по естественным наукам РАН - [www.benran.ru](http://www.benran.ru)
6. Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) - [www.viniti.ru](http://www.viniti.ru)
7. Государственная публичная научно-техническая библиотека - [www.gpntb.ru](http://www.gpntb.ru)
8. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - [elibrary.ru](http://elibrary.ru)