

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

**Программа вступительных испытаний в магистратуру  
по направлению**

**18.04.02 Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической  
технологии, нефтехимии и биотехнологии**

*Магистерская программа*

*«Современные процессы, аппараты и технологии химических  
производств»*

Разработчики программы:

– руководитель магистерской программы «Современные процессы, аппараты и технологии химических производств» – профессор кафедры кибернетики химико-технологических процессов, д.т.н., проф. Меньшутина Н.В.

– доцент кафедры кибернетики химико-технологических процессов, к.т.н., доцент Гордиенко М.Г.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Программа вступительных испытаний предназначена для лиц, желающих поступить в магистратуру ФГБОУ ВО «РХТУ им. Д.И. Менделеева» по направлению подготовки 18.04.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии по магистерской программе «Современные процессы, аппараты и технологии химических производств».

Программа разработана в соответствии с Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. приказом Министерства образования и науки РФ от 5 апреля 2017 г. № 301).

Программа рекомендуется для подготовки к вступительным испытаниям выпускников бакалавриата или специалитета классических университетов, технических и технологических вузов, в основных образовательных программах подготовки которых содержатся дисциплины (модули), рабочие программы которых аналогичны по наименованию и основному содержанию рабочим программам перечисленных ниже учебных дисциплин по уровню бакалавриата.

Содержание программы базируется на следующих учебных дисциплинах, преподаваемых в РХТУ им. Д.И. Менделеева:

1. «Процессы и аппараты химической технологии», которая относится к базовой части блока «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (ФГОС ВО));

2. «Общая химическая технология», которая относится к базовой части блока «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (ФГОС ВО);

3. «Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», относящейся к базовой части блока «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (ФГОС ВО);

4. «Методы кибернетики химико-технологических процессов», которая относится к вариативной части блока «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (ФГОС ВО);

5. «Основы кибернетики и системного анализа химико-технологических процессов», относящейся к вариативной части блока «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (ФГОС ВО);

6. «Информационные системы хранения и обработки данных», относящейся к вариативной части блока «Дисциплины (модули)» основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» (ФГОС ВО);

Программа включает перечень вопросов к вступительным испытаниям и перечень рекомендуемой основной и дополнительной литературы.

Вступительные испытания проводятся в форме устного экзамена по экзаменационным билетам, каждый из которых включает два задания из следующих двух дисциплинарных блоков:

Блок 1. Процессы и аппараты химической технологии, и общая химическая технология.

Блок 2. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

### **2.1 Блок 1. Процессы и аппараты химической технологии, и общая химическая технология**

#### **2.1.1 Процессы и аппараты химической технологии**

##### **Раздел 1. Общие закономерности гидродинамики**

Свойства жидкостей. Закон внутреннего трения Ньютона. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости. Классификация жидкостей.

Режимы движения жидкостей. Характеристики течения жидкостей по трубопроводам. Профили скоростей при разных режимах. Модель сплошной среды. Основные гидродинамические величины. Уравнение неразрывности. Уравнение Эйлера и Навье-Стокса.

Течение жидкостей по трубам и каналам. Пленочное течение. Коэффициенты трения. Гидравлические машины.

Основные параметры работы гидравлических машин: производительность, напор, мощность, кпд. Энергетический смысл напора насоса. Высота всасывания насоса. Явление кавитации и его предотвращение.

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

Модель идеального смешения. Вывод дифференциального уравнения модели. Модель идеального вытеснения. Вывод дифференциального уравнения модели. Передаточная функция модели. Сравнительная оценка идеальных моделей.

Ячеечная модель. Вывод уравнения предельного перехода к модели идеального вытеснения.

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

##### **Раздел 3. Гидромеханические процессы**

Классификация жидких и газовых гетерогенных систем: суспензии, эмульсии, пены, пыли, туманы. Материальный баланс процессов разделения гетерогенных систем.

Внешняя задача гидродинамики. Обтекание твердых тел. Течение через неподвижные зернистые слои.

Гидродинамика псевдооживленных (кипящих) слоев. Основные характеристики псевдооживленного слоя. Зависимость потери давления от средней скорости потока.

Процессы отстаивания под действием силы тяжести. Расчет поверхности осаждения. Устройство непрерывно действующего отстойника.

Фильтрация суспензий. Основное уравнение фильтрования. Виды

фильтровальных перегородок. Фильтры объемного и поверхностного действия.

#### **Раздел 4. Термодинамические процессы**

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

Основные тепловые процессы: нагревание-охлаждение, конденсация, испарение. Тепловые балансы при изменении и без изменений фазового состояния теплоносителей. Прямоток и противоток теплоносителей. Расчет средней движущей силы процесса теплопередачи. Средняя движущая сила при прямотоке и противотоке теплоносителей.

Теплопроводность, конвективный теплообмен, тепловое излучение. Закон Фурье и уравнение Фурье-Кирхгофа.

Теплоотдача и теплопередача. Математическое описание, физический смысл коэффициентов, температурный градиент. Движущая сила. Коэффициенты теплоотдачи и их расчет при движении в трубах и каналах. Влияние гидродинамического режима течения теплоносителя на коэффициент теплоотдачи. Расчет теплообменных аппаратов.

#### **Раздел 5. Массообменные процессы**

Классификация процессов массообмена. Способы выражения составов фаз. Равновесные условия массообмена. Диффузия, закон Фика. Уравнения неразрывности, конвективной диффузии. Движущие силы. Понятие о массоотдаче и массопередаче. Соотношение между коэффициентами массоотдачи и массопередачи. Расчет средней движущей силы массопередачи. Материальный баланс и уравнение рабочей линии при массопередаче (на примере абсорбции). Типы абсорбционных аппаратов и их математическое описание. Минимальный расход абсорбента.

Расчет высоты массообменных аппаратов на основе понятия теоретической ступени разделения. Понятие числа единиц переноса и высоты единицы переноса. Ректификационные аппараты и их типы. Сравнение процессов простой перегонки и ректификации. Расчет ректификационных аппаратов.

### **2.1.2 Общая химическая технология**

#### **Раздел 1. Химический процесс**

Классификация химических процессов по химическим и фазовым признакам. Иерархическая структура химического процесса. Структура математической модели химического процесса.

Гомогенный химический процесс. Зависимости скорости превращения сырья от концентрации, степени превращения и температуры для простых обратимых и необратимых реакций. Аналитическое и графическое

изображение этих зависимостей. Основные показатели гомогенного химического процесса со сложной реакцией: степень превращения, селективность, выход целевого продукта. Влияние на основные показатели концентрации, порядка реакции и температуры.

Понятие оптимальных температур. Оптимальные температуры для обратимых и необратимых экзо- и эндотермических реакций.

Гетерогенный химический процесс «газ (жидкость) - твердое». Модель «сжимающаяся сфера» и модель «сжимающееся ядро». Схема и математическое описание процессов в обеих моделях. Для обеих моделей – наблюдаемая скорость, время полного превращения, лимитирующая стадия, способы интенсификации.

Гетерогенный химический процесс «газ (жидкость) - жидкость». Структура и математическое описание процесса с медленной и быстрой реакцией. Режимы процесса, наблюдаемая скорость, пути интенсификации.

Каталитический химический процесс. Гетерогенный катализ на твердом катализаторе. Обоснование, построение и анализ математической модели на каталитической поверхности и в пористом зерне катализатора. Наблюдаемая скорость превращения и области протекания процесса. Степень использования внутренней поверхности. Пути интенсификации каталитических процессов.

## **Раздел 2. Теоретические основы химических процессов и реакторов**

Стехиометрические закономерности. Стехиометрические уравнения, стехиометрические коэффициенты, расчет количества реагирующих веществ. Простая и сложная реакция. Базисная система линейно независимых уравнений химических реакций. Расчет основных показателей – степень превращения, селективность, выход продукта.

Термодинамические закономерности. Константа равновесия, равновесная степень превращения, их зависимость от температуры для экзо- и эндотермических реакций. Способы управления равновесием.

Кинетические закономерности. Скорость реакции и скорость превращения вещества для простой и сложной реакции. Наблюдаемая скорость превращения. Кинетическое уравнение, порядок реакции, кинетическая кривая. Схема превращения и ее отличие от базисной системы линейно независимых уравнений химических реакций.

## **Раздел 3. Химические реакторы**

Классификация химических реакторов. Функциональные элементы реактора. Общий вид математической модели химического процесса в реакторе.

Химические реакторы – идеального вытеснения, идеального смешения непрерывного действия, идеального смешения периодического действия. Математическое описание изотермического и неизотермического процесса в реакторах всех типов. Сравнение их между собой.

Каскад реакторов идеального смешения. Аналитический и графический методы расчета каскада.

Явление тепловой устойчивости в химическом реакторе. Неоднозначность стационарных режимов. Способы управления тепловым режимом.

#### **Раздел 4. Химическое производство как химико-технологическая система (ХТС)**

Элементы ХТС, типы технологических связей, функциональные подсистемы. Основные свойства ХТС, состояние ХТС (надежность, безопасность, устойчивость, эффективность).

Анализ ХТС. Расчет ХТС – материальные и тепловые балансы. Формы представления балансов.

Синтез ХТС. Оптимальное соединение химических реакторов различного типа. Математические и эвристические методы синтеза ХТС.

Концепции энерго- и ресурсосбережения при синтезе ХТС:

- полное использование сырьевых ресурсов;
- минимизация отходов;
- полное использование энергетических ресурсов;
- оптимальное использование оборудования.

Характеристика приемов для реализации этих концепций.

### **2.2 Блок 2. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

#### **2.2.1 Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

##### **Раздел 1. Математические модели**

Определение. Взаимосвязь математических и физических моделей. Приближенный характер математических моделей. Допущения, принимаемые при построении математической модели. Классификация математических моделей по временному (стационарные, нестационарные, квазистационарные модели) и пространственному признаку (с сосредоточенными параметрами, с распределенными параметрами, ячеечные модели).

##### **Раздел 2. Принципы построения математических моделей и этапы математического моделирования**

Уравнения, отражающие основные законы сохранения массы, энергии, импульса, переноса, условия равновесия, ограничения. Дифференциальная и интегральная запись законов сохранения. Применение теоремы Остроградского-Гаусса для вывода дифференциальной формы законов сохранения. Постановка начального и граничных условий.



Изучение химико-технологических процессов методом математического моделирования. Этапы математического моделирования:

а) Составление математического описания аналитическим способом, эмпирическим способом, аналитико-эмпирическим способом.

б) Выбор метода решения. Аналитические и численные методы. Источники возникновения погрешностей. Анализ сходимости итерационных методов. Реализация выбранного метода решения в виде алгоритма. Разработка программы расчета по алгоритму.

в) Установление адекватности модели по объекту. Статистические гипотезы и проверка гипотез по статистическим критериям. Критерии установления адекватности однооткликowych и многооткликowych моделей.

г) Коррекция модели по результатам накопленной информации.

Примеры.

### **Раздел 3. Блочный принцип построения математических моделей химико-технологических процессов**

Представление математического описания в соответствии с блочным принципом. Основные блоки, составляющие описание процесса и их взаимосвязь. Отражение принципов системного анализа в блочном подходе к построению математических моделей.

### **Раздел 4. Нейросетевое моделирование**

Определение и классификация нейросетевых моделей. Этапы разработки нейросетевых моделей. Алгоритмы обучения. Нейросетевые программные пакеты и примеры применения искусственных нейронных сетей.

### **Раздел 5. Системный анализ химических производств**

Иерархические уровни анализа и исследования химических процессов. Основные подходы к построению моделей реакторов и к решению проблемы моделирования одно- и многофазных химических процессов. Классификация математических методов моделирования промышленных процессов.

Теоретические основы системного анализа. Основные понятия о принципах системного анализа химических процессов. Математические методы решения уравнений моделей. Структурная и параметрическая идентификация моделей.

### **Раздел 6. Программные пакеты для проектирования, моделирования и расчёта химико-технологических процессов и производств**

Пакеты ASPEN как пример коммерческих пакетов для проектирования химико-технологических, фармацевтических, нефтеперерабатывающих производств. Состав пакетов ASPEN. Проектирование технологических схем. HYSYS – как один из пакетов ASPEN. Примеры задач моделирования и проектирования химико-технологических процессов и схем.

Программный комплекс CHEMCAD для моделирования и расчета технологических схем.

Пакеты ANSYS для решения задач моделирования течения жидкостей и газов, межфазных взаимодействий и теплообменом методами вычислительной гидродинамики. ANSYS Fluent – как один из пакетов ANSYS. Решения ANSYS для механики деформируемого твердого тела. ANSYS Mechanical – как один из пакетов ANSYS.

## **Раздел 7. Современные проблемы создания энерго- и ресурсосберегающих промышленных процессов**

Основные крупнотоннажные промышленные процессы химической и нефтехимической промышленности. Тенденции их развития и основные направления их интенсификации. Химические реакторы, их конструкции и режимы эксплуатации. Новые типы химических реакторов, перспективы их использования в различных отраслях промышленности. Интенсификация работы химических реакторов на основе принципов совмещения химических и тепло- и массообменных процессов, как в реакторном узле, так и в отдельном химическом реакторе.

### **3. Вопросы к вступительным испытаниям по магистерской программе «Современные процессы, аппараты и технологии химических производств»**

Перечень вопросов вступительных испытаний включает вопросы по следующим учебным курсам, относящимся к базовой и вариативной частям профессионального цикла дисциплин основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» профиля «Современные процессы, аппараты и технологии химических производств» (в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования (ФГОС ВО)) по двум блокам:

Блок 1. Процессы и аппараты в химической технологии, и общая химическая технология.

Блок 2. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии

#### **Блок 1. Процессы и аппараты химической технологии, и общая химическая технология**

1. Вывод уравнения неразрывности. Какой вид имеет это уравнение при стационарном течении несжимаемой среды и при неустановившемся течении.

2. Вывод уравнения Навье – Стокса для одномерного движения. Каков физический смысл слагаемых?

3. Вывод дифференциальных уравнений Эйлера для течения идеальной жидкости. Чем отличается идеальная жидкость от реальной?

4. Вывод дифференциальных уравнений Эйлера для равновесия жидкости.
5. Закон внутреннего трения Ньютона. Динамический и кинематический коэффициенты вязкости.
6. Характеристики и режимы течения жидкости по трубопроводу. Профили скоростей при различных режимах.
7. Напор насоса, его энергетический смысл. Высота всасывания насоса.
8. Потенциал переноса энергии и массы. Вывод уравнения переноса.
9. Вывод дифференциального уравнения конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа.
10. Вид уравнения для стационарного и нестационарного теплообмена.
11. Перенос тепла конвекцией. Уравнение теплоотдачи. Подобное преобразование дифференциального уравнения конвективного теплообмена Фурье-Кирхгофа. Критерии Фурье, Нуссельта, Пекле, Прандтля.
12. Теплоотдача и теплопередача: математическое описание, физический смысл коэффициентов, температурный градиент.
13. Тепловые балансы при изменении и без изменения фазового состояния теплоносителей. Сравнение прямотока и противотока теплоносителей.
14. Водяной пар как теплоноситель, его преимущества. Определение расхода пара на нагревание и испарение жидкости.
15. Влияние гидродинамического режима течения теплоносителя на коэффициент теплоотдачи. Сравнение кожухотрубного и двухтрубного теплообменников.
16. Расчёт средней движущей силы процесса теплопередачи.  $\Delta T_{cp}$  при прямотоке и противотоке теплоносителей.
17. Порядок расчёта теплообменных аппаратов на примере кожухотрубного теплообменника.
18. Расчёт средней движущей силы массопередачи. Гидродинамические режимы в насадочных колоннах.
19. Соотношение между коэффициентами массопередачи и массоотдачи. Из каких уравнений получают коэффициенты массоотдачи?
20. Сравнение процессов простой перегонки и ректификации. Устройство аппаратов для их осуществления.
21. Первый закон Фика. Вывести дифференциальное уравнение конвективной диффузии.
22. Материальный баланс и уравнение рабочей линии при абсорбции. Вывести это уравнение при противотоке газа и жидкости. Как определяется минимальный удельный расход абсорбента?
23. Вывести уравнения для расчета средней движущей силы массопередачи.
24. Расчет высоты и диаметра противоточных колонных аппаратов со ступенчатым контактом фаз.
25. Основное уравнение массопередачи. Уравнение массоотдачи.

Коэффициенты массопередачи и массоотдачи. Их размерности и физический смысл.

26. Осаждение под действием силы тяжести. Силы, действующие на частицу. Вывести уравнения для определения скорости свободного осаждения шара.

27. Охарактеризовать состояние зернистого слоя в зависимости от скорости восходящего потока газа или жидкости. Как рассчитать потерю давления в псевдооживленном слое?

28. Химический процесс. Классификация химических процессов. Иерархическая структура процесса и его математической модели для химического реактора.

29. Стехиометрические закономерности химических процессов. Стехиометрическое уравнение, стехиометрические коэффициенты. Расчёт основных показателей: степень превращения, селективность, выход продукта.

30. Термодинамические закономерности химических процессов. Зависимость константы равновесия и равновесной степени превращения от температуры для экзо- и эндотермических реакций.

31. Кинетические закономерности химических процессов. Понятия скорости реакции и скорости превращения вещества для простой и сложной реакции. Кинетическое уравнение, порядок реакции, кинетическая кривая.

32. Гомогенный химический процесс. Определение, примеры. Аналитические и графические зависимости скорости превращения от концентрации, степени превращения и температуры для простых необратимых реакций и для простых обратимых реакций.

33. Гетерогенный химический процесс "газ-жидкость". Примеры. Структура и математическое описание процесса с медленной и быстрой реакцией.

34. Каталитический химический процесс. Определение катализа и катализатора. Химический процесс в пористом зерне катализатора. Схема процесса и математическое описание.

35. Каталитический химический процесс. Химический процесс на непористом катализаторе. Схема процесса и математическое описание.

36. Химические реакторы. Определение, классификация. Функциональные элементы реактора. Общий вид математической модели химического процесса в реакторе. Основные математические модели химических реакторов.

37. Реактор идеального вытеснения. Математическое описание изотермического и неизотермического процессов в реакторе.

38. Реактор идеального смешения непрерывного действия. Математическое описание изотермического и неизотермического процессов в реакторе.

39. Реактор идеального смешения периодического действия. Математическое описание изотермического и неизотермического процессов в реакторе.

40. Каскад реакторов идеального смешения. Аналитический и графический методы расчета каскада реакторов идеального смешения.

41. Явление тепловой устойчивости в химическом реакторе. Неоднозначность стационарных режимов. Способы управления тепловым режимом.

42. Химическое производство как химико-технологическая система (ХТС). Понятие системы. Элементы ХТС, типы технологических связей, функциональные подсистемы, примеры. Показатели эффективности химического производства.

43. Синтез оптимальных схем реакторов. Сравнить параллельное и последовательное соединение реакторов идеального вытеснения и идеального смешения.

44. Анализ ХТС. Материальные и тепловые балансы как основа расчета ХТС. Общие правила составления балансов. Формы представления балансов.

45. Концепции синтеза ХТС. Оптимальное использование оборудования. Гибкие ХТС. Характеристика приёмов для реализации концепции синтеза ХТС. Примеры.

## **Блок 2. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

1. Основные этапы математического моделирования. Виды математических моделей. Методы разработки и состав математического описания ХТП.

2. Установление адекватности математических моделей.

3. Математические модели и этапы математического моделирования.

4. Классификация математических моделей по временному (стационарные, нестационарные, квазистационарные модели) и пространственному признаку (с сосредоточенными параметрами, с распределенными параметрами, ячеечные модели).

5. Изучение химико-технологических процессов методом математического моделирования. Этапы математического моделирования.

6. Нейросетевое моделирование. Этапы разработки нейросетевой модели. Обучение на основе обратного распространения ошибок.

7. Искусственные нейронные сети: основные элементы, структура, классификация, решаемые задачи.

8. Понятие системы, элемента системы, подсистемы, системообразующего фактора. Структура и свойства системы, иерархичность. Классификация систем. Функции системы и ее элементов. Привести примеры системы в химической технологии.

9. Понятие системного анализа. Принципы системного анализа.

10. Методы системного анализа и постановка целей системного анализа.

11. Понятие математической модели. Структура и свойства математических моделей.

12. Структура математического описания процессов химической

технологии. Этапы математического моделирования. Блочный принцип построения математических моделей химико-технологических процессов.

13. Блочный принцип построения математических моделей. Отражение принципов системного анализа в блочном подходе к построению математических моделей.

14. Основные подходы к построению моделей реакторов и к решению проблемы моделирования однофазных химических процессов.

15. Основные подходы к построению моделей реакторов и к решению проблемы моделирования многофазных химических процессов.

16. Пакеты ASPEN как пример коммерческих пакетов для проектирования химико-технологических, фармацевтических, нефтеперерабатывающих производств. Состав пакетов ASPEN.

17. Проектирование технологических схем. HYSYS – как один из пакетов ASPEN. Примеры задач моделирования и проектирования химико-технологических процессов и схем.

18. Программный комплекс CHEMCAD для моделирования и расчета технологических схем.

19. Пакеты ANSYS для решения задач моделирования течения жидкостей и газов, межфазных взаимодействий и теплообменом методами вычислительной гидродинамики.

20. ANSYS Fluent – как один из пакетов ANSYS.

21. Решения ANSYS для механики деформируемого твердого тела. ANSYS Mechanical – как один из пакетов ANSYS.

22. Закон сохранения массы. Его интегральный и дифференциальный вид. Применение теоремы Остроградского-Гаусса для вывода дифференциальной формы законов сохранения.

23. Закон сохранения импульса. Его интегральный и дифференциальный вид.

24. Закон сохранения энергии. Его интегральный и дифференциальный вид.

25. Основные крупнотоннажные промышленные процессы химической и нефтехимической промышленности. Тенденции их развития и основные направления их интенсификации.

#### **4. Рекомендуемая литература**

**По блоку 1. Процессы и аппараты химической технологии, и общая химическая технология**

**Основная:**

1. Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] учебное пособие / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент; ред. Ю. А. Комиссаров. – М. : Химия, 2011. – 1229 с.

2. Красавин, А. В. Общая химическая технология [Текст]: учебное пособие / А. В. Красавин, Т. А. Тарасенко, В. С. Бесков. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010 – Ч.1 : Химические процессы и реакторы. – 2010. – 123 с.

3. Общая химическая технология в вопросах и ответах [Текст] : учебное пособие / сост.: В. С. Бесков, В. И. Ванчурин, В. И. Игнатенков. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011 – Ч.1. – 2011. – 82 с.

**Дополнительная:**

1. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учебник для вузов: В 2 ч. / Ю.И. Дытнерский. – 3-е изд. – М. : Химия.– Ч.1 : Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты : рекомендовано Мин. образования. – 2002. – 400 с.

2. Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учебник для вузов: В 2 ч. / Ю.И. Дытнерский. – М. : Химия. – Ч.2 : Массообменные процессы и аппараты : рекомендовано Мин.образования. – 2002. – 368 с.

3. Основные процессы и аппараты химической технологии : пособие по проектированию / ред. Ю. И. Дытнерский. – 4-е изд., стер., Перепеч. с изд. 1991г. – М. : Альянс, 2008. – 493 с.

4. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для вузов / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – 11-е изд., стер. Перепечатка с изд. 1987 г. – М. : РусМедиаКонсалт, 2004. – 576 с.

5. Бесков, В. С. Общая химическая технология : учебник для вузов / В. С. Бесков. – М. : Академкнига, 2005.

**По блоку 2. Моделирование энерго- и ресурсосберегающих процессов в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии**

**Основная:**

1. Ахназарова, С. Л. Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов с неполной информацией о механизме [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. Л. Ахназарова, Л. С. Гордеев, М. Б. Глебов. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 100 с.

2. Макаров, В. В. Многокритериальная оптимизация ассортимента и качества химической продукции : учебное пособие / В. В. Макаров, Ю. В. Сбоева. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2014. – 100 с.

3. Н.В. Меньшутина, А.В. Матасов. Современные информационные системы хранения данных, обработки и анализа данных для предприятий химической и смежных отраслей – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2011. – 308с.

**Дополнительная:**

1. Кафаров, В.В., Глебов, М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: учебное пособие / В.В

Кафаров, М.Б. Глебов – М.: Высш. шк., 1991. – 400 с: [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/174347/> (дата обращения: 14.03.2019 г.)

2. Дударов, С.П. Вычислительные методы обработки экспериментальных данных [Текст] : учеб.-метод. пособие / С. П. Дударов, А. Н. Шайкин, А. Ф. Егоров. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2005. – 52 с.

3. Гартман, Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов [Текст] : учебное пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д. В. Клушин. – М. : ИКЦ "Академкнига", 2006. – 415 с.

4. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://subscribe.ru/group/nauchno-tehnicheskaja-biblioteka/2322225/> (дата обращения 12.05.2019).

5. Писаренко, Е. В. Теория планирования эксперимента [Текст] : учебное пособие / Е. В. Писаренко, В. Н. Писаренко. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2013. – 71 с.

6. Бояринов А. И., Кафаров В. В. Методы оптимизации в химической технологии. – М. : Химия, 1975. – 576 с.

7. Шайкин А.Н. Практические основы линейной оптимизации: учеб. пособие / под ред. А.Ф. Егорова. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2003. – 144с.

8. Кафаров В.В., Мешалкин В.П. Анализ и синтез химико-технологических систем. Учебник для вузов-М.: Химия, 1991.-432 с.: ил. [Электронный ресурс]: – Режим доступа <http://moodle.milrti.ru/mod/resource/view.php?id=836> (Дата обращения 12.05.2019).

9. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии/ В. В. Кафаров. – М. : Химия, 1984.

10. Кафаров В.В. Системный анализ процессов химической технологии. Т.1. Основы стратегии / В.В. Кафаров, И.Н. Дорохов. – М. : Наука, 1976.

11. Писаренко, Е. В. Промышленные каталитические процессы. Структуры и свойства твердых катализаторов : учебное пособие / Е. В. Писаренко. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2009. - 135 с.